2024

НАУКОВІ ПРАЦІ
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Том 30 № 6

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

КИЇВ ✧ НУХТ ✧ 2024

UDC 663/664
Media ID R30-02089

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 July11, 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 Б, room 412
01601 Kyiv, Ukraine

Recommended for publication by the Academic Council of the National University of Food Technologies. Protocol No. 6 from 19th of December, 2024

© NUFT, 2024

УДК 663/664
Ідентифікатор медіа R30-02089

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 № 6 від 19 грудня 2024 року

© НУХТ, 2024

Редакційна колегія

Склад редакційної колегії журналу
«Наукові праці Національного університету харчових технологій»

Головний редактор
Editor-in-Chief

Олександр Шевченко	д-р техн. наук, проф., Україна
Oleksandr Shevchenko	Dr. Sc., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine

Відповідальний секретар
Managing secretary

Анастасія Шевченко	канд. техн. наук, доц., Україна
Anastasiia Shevchenko	Ph. D., As. Prof., National University of Food Technologies, Ukraine

Члени редакційної колегії:

Агота Гєдре Райшене	д-р екон. наук, Литва
Agota Giedre Raisiene	Dr. Sc., Lithuanian Institute of Agrarian Economics, Lithuania
Андрій Маринін	канд. техн. наук, ст. наук. сп., Україна
Andrii Marynin	Ph. D., As. Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Валерій Мирончук	д-р техн. наук, проф., Україна
Valerii Myronchuk	Dr. Sc., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Василь Кишенько	канд. техн. наук, доц., Україна
Vasyl Kyshenko	Ph. D., As. Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Василь Пасічний	д-р техн. наук, проф., Україна
Vasyl Pasichnyi	Dr. Sc., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
В'ячеслав Іващук	д-р техн. наук, проф., Україна
Vyacheslav Ivaschuk	Dr. Sc., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Віктор Стабніков	д-р техн. наук, проф., Україна
Viktor Stabnikov	Dr. Sc., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Володимир Зав'ялов	д-р техн. наук, проф., Україна
Volodymyr Zavialov	Dr. Sc., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Галина Поліщук	д-р техн. наук, проф., Україна
Halyna Polishchuk	Dr. Sc., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Герхард Шльонінг	д-р техн. наук, Австрія
Gerhard Schleining	Dr. Sc., Prof., University of Natural Resources, Austria
Дайва Лескаускайте	д-р техн. наук, проф., Литва
Daiva Leskauskaite	Dr. Sc., Prof., Kaunas University of Technology, Lithuania
Кристина Сильва	д-р техн. наук, проф., Португалія
Cristina L. M. Silva	Dr.Sc., Prof., University de Catolica, Portuguesa
Лада Ширінян	д-р екон. наук, проф., Україна
Lada Shirinyan	Dr. Sc., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine

Лариса Арсеньєва **Larisa Arsenyeva**	д-р техн. наук, проф., Україна Dr. Sc., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Микола Костіков **Mykola Kostikov**	канд. техн. наук, доц., Україна Ph. D., As. Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Наталія Луцька **Nataliia Lutska**	канд. техн. наук, доц., Україна Ph. D., As. Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Оксана Скроцька **Oksana Skrotska**	канд. б. наук, доц., Україна Ph. D., As. Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Олександр Бутнік-Сіверський **Oleksandr Butnik-Siverskyi**	д-р екон. наук, проф., Україна Dr. Sc., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Олександр Гавва **Oleksandr Gavva**	д-р техн. наук, проф., Україна Dr. Sc., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Олена Драган **Olena Dragan**	д-р екон. наук, проф., Україна Dr. Sc., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Олена Стабнікова **Olena Stabnikova**	канд. техн. наук, доц., Україна Ph. D. As., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Ольга Пєтухова **Olga Pietukhova**	д-р екон. наук, проф., Україна Dr. Sc., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Паола Піттіа **Paola Pittia**	д-р техн. наук, проф., Італія Dr. Sc., Prof., University of Teramo, Italy
Світлана Бондаренко **Svitlana Bondarenko**	д-р хім. наук, проф., Україна Dr. Sc., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Світлана Літвинчук **Svitlana Litvynchuk**	канд. техн. наук, доц., Україна Ph. D., As. Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Сергій Чумаченко **Serhii Chumachenko**	д-р техн. наук, ст. наук. сп., Україна Dr. Sc., As. Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Сергій Балюта **Sergii Baluta**	д-р техн. наук, проф., Україна Dr. Sc., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Сергій Грибков **Sergii Hrybkov**	д-р техн. наук, проф., Україна Dr. Sc., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Хууб Леліевельд **Huub Lelieveld**	д-р наук, проф., Нідерланди Dr. Sc., Prof., President of the Global Harmonization Initiatives, the Netherlands

ЗМІСТ

CONTENTS

Біотехнології

Хабленко А. Д., Даниленко С. Г., Дуган О. М., Стоцька О. В. Вивчення росту і утилізації основних вуглеводів пивного сусла штамом *Limosilactobacillus fermentum* 7

Бондар Г. М., Красінько В. О. Вплив умов культивування на накопичення заліза в дріжджах роду *Saccharomyces* і перспективи їх використання 18

Благодир Д. О., Пирог Т. П. Дія на комбіновані біоплівки комплексу ефірних олій з поверхнево-активними речовинами, синтезованими *Acinetobacter calcoaceticus* IMB B-7241 за наявності бактеріальних індукторів 39

Економіка, менеджмент і маркетинг

Драган О. І. Професійна етика в системі менеджменту персоналу компаній харчової промисловості 49

Рудова А. Я. Досвід сталого розвитку підприємств харчової промисловості 58

Бергер А. Д. Холістичний підхід до маркетингового менеджменту підприємств харчової промисловості в умовах VUCA 68

Механічна та електрична інженерія

Булій Ю. В., Куц А. М., Карпович І. В., Запорожець Ю. В. Інноваційна технологія переробки напівпродуктів і побічних продуктів у спиртовому виробництві 87

Михайлов В. М., Загорулько О. Є., Загорулько А. М., Касабова К. Р., Шидакова-Каменюка О. Г., Дмитревський Д. В. Апаратурно-технологічні аспекти виробництва функціональних плодово-ягідних паст для пастильно-мармеладних виробів 99

Харчові технології

Котляр Є. О., Єгоров Б. В., Левчук І. В. Сенсорні характеристики олійно-жирової продукції, отриманої з різних сортів персиків 110

Михонік Л. А., Погорєлов І. С. Дослідження використання борошна зеленої гречки в технології простих сухарів 123

Biotechnologies

Khablenko A., Danylenko S., Dugan O., Stotska O. Study of the growth and utilization of major carbohydrates in beer wort by the *Limosilactobacillus fermentum* strain 7

Bondar H., Krasinko V. The influence of cultivation conditions on iron accumulation in *Saccharomyces* yeasts and their application prospects 18

Blagodyr D., Pirog T. Action on combined biofilms of essential oil complex with surfactants synthesized by *Acinetobacter calcoaceticus* IMB B-7241 in the presence of bacterial inducers 39

Economy, Management and Marketing

Dragan O. Professional ethics in the personnel management system of food industry companies 49

Rudova A. Experience of sustainable development of food industry enterprises 58

Berher A. Holistic approach to marketing management of food industry enterprises in the context of VUCA 68

Mechanical and Electrical Engineering

Bulii Y., Kuts A., Karpovych I., Zaporogets Y. Innovative technology for processing intermediates and by-products in alcohol production 87

Mykhaylov V., Zagorulko O., Zahorulko A., Kasabova K., Shydakova-Kameniuka O., Dmytrevskyi D. Hardware and technological aspects of the production of functional fruit and berry paste for pastel and marmalade products 99

Food Technologies

Kotliar Ye., Iegorov B., Levchuk I. Sensory characteristics of fat-and-oil products obtained from different peach cultivars 110

Mykhonik L., Pohorielov I. Research on the use of green buckwheat flour in the technology of rusks 123

Страшинський І. М., Грицай М. С. Вплив активних стабілізаторів на функціональні властивості м'ясних фаршів 133

Паска М. З., Хромова М. В. Фізико-хімічні властивості якості сала свиней залежно від впливу хелатних сполук заліза 143

Юкало В. Г., Дацишин К. Є., Солтис В. П. Вплив низькотемпературного нагрівання на фракційний склад білків сироватки молока 149

Бондаренко Ю. В., Білик О. А., Кочубей-Литвиненко О. В., Півоварова В. В., Крушинська А. С. Використання ізоляту сироваткових білків у виробництві булочних виробів 159

Strashynskyi I., Hrytsai M. The impact of active stabilizers on the functional properties of minced meat 133

Paska M., Khromova M. Physicochemical properties of pig fat quality depending on the influence of iron chelate compounds 143

Yukalo V., Datsyshyn K., Soltys V. Influence of low-temperature heating on the fractional composition of milk whey proteins 149

Bondarenko Yu., Bilyk O., Kochubei-Lytvynenko O., Pivovarova V., Krushynska A. Use of whey protein isolate in the production of bakery products 159

УДК 579.67: 579.66: 579.864.1: 663.44: 663.473

STUDY OF THE GROWTH AND UTILIZATION OF MAJOR CARBOHYDRATES IN BEER WORT BY THE *LIMOSILACTOBACILLUS FERMENTUM* STRAIN

A. Khablenko[1,2], S. Danylenko[2], O. Dugan[1], O. Stotska[3]
[1]*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*
[2]*Institute of Food Resources of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine*
[3]*Institute of Postgraduate Education of the National University of Food Technologies*

Key words:
Lactic acid bacteria
Sour beer styles
Acidification
Carbohydrates utilization
Maltose
wort

Article history:
Received 11.11.2024
Received in revised form 25.11.2024
Accepted 13.12.2024

Corresponding author:
O. Stotska
E-mail:
marketing-uaan@ukr.net

Citation: Хабленко А. Д., Даниленко С. Г., Дуган О. М., Стоцька О. В. (2024). Вивчення росту і утилізації основних вуглеводів пивного сусла штамом *Limosilactobacillus fermentum*. *Наукові праці НУХТ*, 30(6), 7—17. DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-6-3

ABSTRACT

With the development of craft brewing, the production of atypical and new types of beer, particularly sour varieties, has gained significant popularity. Currently, only a limited number of lactic acid bacteria species are known to be used for the production of sour beer, making the search and study of new strains a relevant task. One of the main criteria for selecting lactic acid bacteria for use in beer acidifying agents is their ability to utilize and efficiently ferment the main carbohydrates of wort - maltose and glucose. A review of the scientific literature shows a relatively small number of studies focused on the growth of individual lactic acid bacteria on maltose and glucose, without emphasizing the acid-producing capability of the studied strains.

Based on the above, research on the growth, acid production, and carbohydrate consumption of lactic acid bacteria *Lmb. fermentum* in media with typical and elevated carbohydrate concentrations (2% and 10%, respectively) was conducted. Maltose and glucose, which are typical components of wort, were chosen as the carbohydrates.

As a result of the study, *Lmb. fermentum* was found to grow in both nutrient media with two carbohydrate concentration variants (2% and 10%). However, both the culture growth rate and active acid production were more effective in the medium with an elevated maltose concentration, while the increased glucose content partially inhibited growth. The use of higher maltose concentrations (10%) promoted greater accumulation of lactic acid compared to standard concentrations (2% maltose), which was due to the gradual consumption of carbohydrates and a longer logarithmic growth phase.

DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-6-3

ВИВЧЕННЯ РОСТУ І УТИЛІЗАЦІЇ ОСНОВНИХ ВУГЛЕВОДІВ ПИВНОГО СУСЛА ШТАМОМ *LIMOSILACTOBACILLUS FERMENTUM*

А. Д. Хабленко[1,2], С. Г. Даниленко[2], О. М. Дуган[1], О. В. Стоцька[3]
[1]Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
[2]Інститут продовольчих ресурсів Національної академії аграрних наук України
[3]Інститут післядипломної освіти Національного університету харчових технологій

У зв'язку з розвитком крафтового пивоваріння, виробництво нетипових і нових сортів пива, зокрема кислих, набуває значної популярності. На сьогодні відома незначна кількість видів молочнокислих бактерій, які використовуються для виробництва кислих сортів пива, що робить завдання з пошуку та дослідження нових штамів актуальним. Одним із найголовніших критеріїв відбору молочнокислих бактерій для використання у препаратах-підкислювачах пива є їх здатність до утилізації й ефективного зброджування головних вуглеводів пивного сусла — мальтози та глюкози. Аналіз наукової літератури свідчить про відносно невелику кількість статей, присвячених вивченню здатності до росту окремих молочнокислих бактерій на мальтозі та глюкозі, не акцентуючи увагу на здатності до кислотоутворення досліджуваних штамів.

Зважаючи на викладене вище, було проведено дослідження здатності до росту, кислотоутворення і споживання вуглеводів молочнокислими бактеріями Lmb. fermentum на середовищах з типовими і підвищеними концентраціями вуглеводів (2 і 10% відповідно). Як вуглеводи обрано мальтозу та глюкозу, які є типовими складовими пивного сусла.

У результаті проведених досліджень встановлена здатність Lmb. fermentum до росту на поживних середовищах з двома варіантами концентрацій вуглеводів (2 і 10%). Однак і швидкість росту культури, і активне кислотоутворення було більш ефективним на середовищі з підвищеною концентрацією мальтози, тоді як підвищений вміст глюкози частково інгібує ріст. Використання підвищених концентрацій мальтози (10%) сприяє більшому накопиченню молочної кислоти, порівняно зі стандартними концентраціями (2% мальтози), що обумовлено поступовим споживанням вуглеводів і більш тривалою логарифмічною фазою росту.

Ключові слова: *молочнокислі бактерії, кислі сорти пива, підкислення, утилізація вуглеводів, мальтоза, сусло.*

Постановка проблеми. Пиво — популярний та один із найпоширеніших алкогольних напоїв у світі (Villacreces, Blanco, & Caballero, 2022). Останніми роками спостерігається значне зростання зацікавленості споживачів крафтовим виробництвом сортів пива (Baiano, 2020; Villacreces, 2022). Збільшення споживання саме крафтових сортів пива обумовлено двома причинами: зростанням зацікавленості

відносно молодих споживачів цим продуктом та особливістю його нестандартних органолептичних властивостей (Baiano, 2020). Технологія крафтового пивоваріння забезпечує виготовлення переважної більшості традиційних сортів пива, зокрема кислих, таких як Gose, Berliner Weisse, Lambic тощо (Dysvik, 2020; Villacreces, 2022). Якщо для традиційного багатотоннажного виробництва типових сортів пива, наприклад, лагерних, використовуються лише певні, теж традиційні, раси дріжджів, то для кислих сортів характерним є використання так званих «шкідників» пивоваріння — молочнокислих бактерій (Zhang та ін., 2020). Критичним технологічним етапом, на якому, зазвичай, залучаються молочнокислі бактерії, є стадія підкислення пивного сусла. Основним і досить важливим завданням молочнокислих бактерій є ефективне підкислення сусла до значень pH (3,2—3,8) (Dysvik та ін., 2020). Підкислення сусла можливе за рахунок накопичення молочної кислоти або сумішей молочної та оцтової кислоти залежно від використаних видів молочнокислих бактерій, а також за рахунок утилізації вуглеводів, притаманних для пивного сусла (Ciosek, Rusiecka, & Poreda, 2019). Головними складовими пивного сусла є вуглеводи: мальтоза, глюкоза, фруктоза, мальтотріоза, мальтотетралоза та інші декстрини, глюкани і пентозани (Ferreira, 2009). Для кислих сортів пива найчастіше використовується ячмінне сусло, концентрація мальтози у якому сягає (7—12)% (Zhuang та ін., 2016). При підборі молочнокислих бактерій для виробництва кислих сортів пива досить важливою є здатність до виживання за високих концентрацій вуглеводів, зокрема мальтози, утилізація вуглеводів та активне накопичення молочної кислоти або суміші молочної й оцтової кислот (Dysvik, 2020; Holubchyk, 2024). На сьогодні відоме невелике видове різноманіття молочнокислих бактерій, що використовують у виробництві кислих сортів пива, що актуалізує пошук і відбір нових промислово цінних штамів для виробництва кислих сортів пива.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Важливим фактором відбору молочнокислих бактерій для підкислення пивного сусла є здатність до утилізації головного вуглеводу — мальтози, та здатність до росту за підвищених концентрацій вуглеводів, зокрема мальтози та глюкози (Ciosek et al., 2020). У праці (Fuso та ін., 2023) наводиться інформація про культивування *L. bulgaricus, L. rhamnosus* та *L. paracasei* на середовищі MRS з використанням різних вуглеводів з концентрацією 5%. Культивування на середовищі з 5 % мальтозою призводило до приросту біомаси досліджуваних штамів на 12,58%, 2,49% та 10,59% для *L. paracasei, L. rhamnosus* та *L. bulgaricus* відповідно.

У дослідженні (Serna Cock, & Rodriguez de Stouvenel, 2006) було виявлено здатність до росту штаму *Lactococcus lactis* subs *lactis* на середовищах з концентраціями глюкози 20 г/л, 60 г/л та 110 г/л. Утилізація глюкози через 24 год склала 92,49%, 90,26% та 57,08%. Окрім цього, спостерігалось підвищення виходу молочної кислоти на середовищі з максимальною концентрацією глюкози.

У праці (Palmfeldt, Paese, Hahn-Hägerdal, & van Niel, 2004) продемонстровано здатність до споживання мальтози штамом *Lc. lactis*. Виявлено підвищене споживання глюкози у кількості 24,4 ммоль·г/год та накопичення молочної кислоти

90%, порівняно з мальтозою 8,0 ммоль·г/год та 11% відповідно. Окрім цього, встановлені вищі значення питомої швидкості росту саме для середовища з глюкозою, які склали до 1,1 год$^{-1}$.

Дослідження (Endo, Futagawa-Endo, & Dicks, 2011) вказує на можливість стимуляції росту таких видів, як *Lmb. fermentum, L. helveticus, L. kefiri, Enterococcus faecium* шляхом культивування на мальтозовмісних середовищах.

У (Olaoye, Onilude, & Dodd, 2008) доведена здатність до активного накопичення молочної кислоти у штамів *Pediococcus acidilacticti* та *P. Pentosaceus*, а також до накопичення молочної кислоти на 10% концентраціях глюкози та мальтози.

На підставі аналізу проведених досліджень можна зробити висновок, що питання здатності до росту молочнокислих бактерій на субстратах з високими концентраціями вуглеводів залишаються малодослідженими, тому вивчення ростових характеристик молочнокислих бактерій, зокрема на середовищах з мальтозою та середовищах з їх підвищеними концентраціями, є актуальним.

Метою дослідження є визначення динаміки росту та кислотоутворення представника молочнокислих бактерій *Lmb. fermentum* на середовищах з різними концентраціями вуглеводів, типових для пивного сусла — мальтози і глюкози.

Матеріали і методи. У дослідженні використано штам *Lmb. fermentum*, виділений з вівсяного квасу, виготовленого шляхом 7-денного зброджування зерна вівса, змішаного з водою у співвідношенні 1:4. Культуру *Lmb. fermentum* вирощували протягом 18 год у термостаті за температури 37 °С на загальновживаному рідкому поживному середовищі MRS (де Ман, Рогоза, Шарп) з 2% вмістом вуглеводів глюкози згідно з (Zhang та ін., 2020). Було використано чотири рідких середовища на основі бульйону MRS з різними вуглеводами та їх концентраціями: 2% глюкози (2Г), 2% мальтози (2М), 10% глюкози (10Г) та 10% мальтози (10М). 18-годинну культуру засівали у середовища 10% та культивували в термостаті за температури (37 ± 1) °С протягом 24 годин.

Динаміку змін відповідних показників *Lmb. fermentum* на середовищах з різними концентраціями вуглеводів визначали шляхом відбору зразків культури через 0, 3, 6, 12 та 24 год від початку культивування. У відібраних зразках вимірювали, паралельно, pH середовища (для встановлення здатності до кислотоутворення), оптичну густину за довжини хвилі 540 нм (OD540) та проводили висів серійних розведень на агаризоване середовище MRS з 2% глюкози. Кількість вуглеводів у поживних середовищах оцінювали ферицианідним методом згідно з (Pawar, Gehlot, Kumar, & Sharma, 2021).

Відсоткова кількість спожитих вуглеводів за 24 год культивування була розрахована за формулою:

$$C_{\%} = \left(\frac{C_0 - C_{24}}{C_0} \right) \cdot 100,$$

де C_{24} — концентрація відповідного вуглеводу після 24 год культивування, C_0 — концентрація вуглеводу на початку культивування.

Для оцінки ефективності росту та порівняння впливу концентрації вуглеводу на ріст *Lmb. fermentum* було розраховано питому швидкість росту згідно з (Ruiz Rodríguez та ін., 2019) за формулою:

$$\mu = \frac{ln(N_{t1}) - ln(N_{t0})}{t_1 - t_0},$$

де N_{t1} — логарифм десятковий від КУО/мл при t_1 — 6 год; N_{t0} — логарифм десятковий КУО/мл при t_0 — 3 год.

Достовірність отриманих результатів забезпечувалась трикратним проведенням експериментів. Для статистичної обробки даних використовували тест Дункана для порівняння впливу середовищ в один проміжок часу. Результати вважались статистично значущими при значенні $p < 0,05$. Графічне представлення експериментальних даних проводили з використанням Microsoft Excel 2013.

Викладення основних результатів дослідження. Проведені дослідження дали можливість отримати інформацію щодо здатності до росту штаму *Lmb. fermentum* на середовищах з різними концентраціями вуглеводів, що відображено на кривій росту на рис. 1.

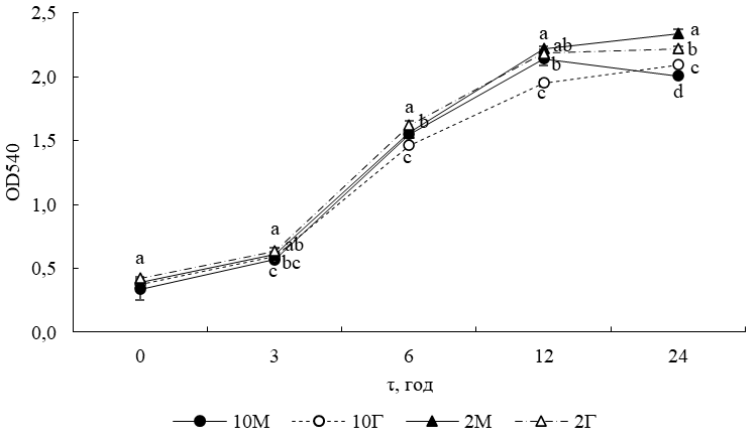


Рис. 1. Динаміка зміни значень OD540 під час культивування на середовищах з різними концентраціями мальтози і глюкози

Представлена на рис. 1 крива росту свідчить, що штам *Lmb. fermentum* може рости й ефективно накопичувати біомасу на всіх поживних середовищах як на мальтозі, так і на глюкозі з концентраціями 2 і 10%. Початкове значення OD540, що характеризує щільність культуральної рідини, є приблизно однаковим для всіх поживних середовищ і не має статистично значущих відмінностей. Через 3 год культивування спостерігаються перші статистично значущі відмінності, зокрема для середовища 10Г — 0,59 ± 0,01 та 10М — 0,57 ± 0,01 порівняно з 2-відсотковими середовищами. Нижчі значення на початку логарифмічної фази росту можуть свідчити про певне інгібування росту більшими концентраціями вуглеводів. Після 6 год культивування найбільші значення спостерігаються для середовища 2М (1,56 ± 0,02), 10М (1,55 ± 0,02) та 2Г (1,62 ± 0,03). Отримані значення для середовища 10Г менші, порівняно з наведеними, та становлять 1,46 ± 0,01, що може свідчити про уповільнену швидкість логарифмічної фази росту штаму. Значення після 12-годинного культивування вказують на збіжні показники, проте найвищі спостерігаються на середовищі 2М і становлять 2,22 ± 0,02, що може свідчити про

позитивний ефект мальтози на ріст досліджуваного штаму *Lmb. fermentum*. Значення для середовища 2Г належать до двох груп статистичної значущості та збіжні зі значеннями 2М і 10М, що свідчить про однаковий вплив глюкози і мальтози на ріст штаму. Нижчі значення порівняно з іншими дослідними середовищами спостерігаються для 10Г і становлять 1,95 ± 0,03. Після 24-годинного вирощування всі значення є статистично значущими, проте найбільші фіксуються для середовища 2М і становлять 2,34 ± 0,04. Примітно, що значення для середовища 10Г стали вищими і піднялись до 2,09 ± 0,01. Отже, визначено що досліджуваний штам може ефективно рости на середовищах як з концентраціями вуглеводів 10%, так і 2%.

З метою детального дослідження росту штаму та його життєздатності на середовищах було побудовано криві росту за логарифмічними значеннями КУО/мл, що продемонстровано на рис. 2.

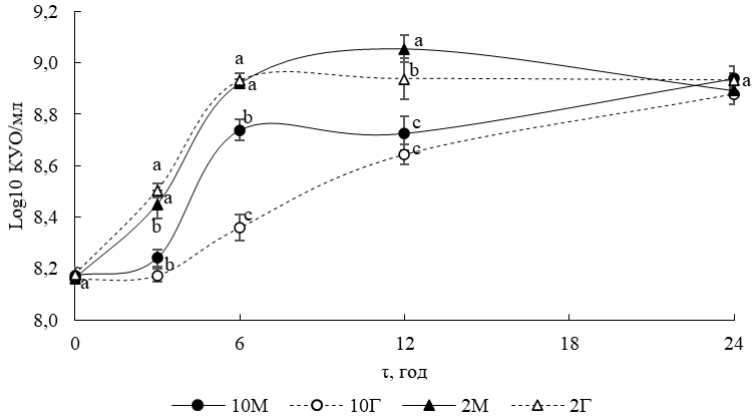


Рис. 2. Динаміка росту *Lmb. fermentum* на середовищах з різними концентраціями мальтози і глюкози

Дані, отримані при початковому внесенні, не показали статистично значущої відмінності поживних середовищ, що може служити контролем для порівняння. Після 3-годинного культивування спостерігаються значущі зміни в прирості культури: для 10-відсоткових концентрацій вуглеводів значення нижчі 10Г — 8,17 ± 0,03 КУО/мл, 10М — 8,24 ± 0,03 КУО/мл, порівняно з 2-відсотковими 2Г — 8,51 ± 0,03 КУО/мл та 2М — 8,45 ± 0,05 КУО/мл. Аналогічно до наведених вище значень OD540 спостерігаються нижчі значення для середовища 10Г. 6-годинне вирощування демонструє найбільші значення КУО/мл для середовищ з 2-відсотковим вмістом вуглеводів, які не мають статистично значущої відмінності між собою 8,92 ± 0,02 КУО/мл та 8,93 ± 0,03 КУО/мл для мальтози і глюкози відповідно. Наведені криві росту підтверджують, що після 6 год культивування на середовищах з концентрацією вуглеводів 2% культура входить у стаціонарну фазу росту. Максимальні значення встановлені для 12-годинної культури з 2% концентрацією вуглеводів; значення для 2М є статистично значущим і більшим, порівняно з 2Г і склало (9,06 ± 0,05) КУО/мл. Отже, можна зробити висновок про позитивний вплив мальтози на досліджуваний штам *Lmb. fermentum*.

Середовища з 10-відсотковим вмістом вуглеводів демонструють нижчі значення показника накопичення біомаси. Найменші фіксуються для Г10 і складають 8,64 ± 0,04 КУО/мл, що може бути обумовленим інгібуванням росту великими концентраціями глюкози. У випадку М10 спостерігаються вищі значення, порівняно з Г10, які складають 8,73 ± 0,07 КУО/мл. Після 24 год культивування спостерігається приріст культури на середовищах М10 та Г10 і поступове зниження значень для 2-відсоткових середовищ, що може свідчити про пролонговану логарифмічну та стаціонарну фазу росту і початок фази відмирання відповідно. Зважаючи на представлені результати, можна зробити висновок про здатність до ефективного росту *Lmb. fermentum* на всіх середовищах з переважанням швидкості росту на середовищах з мальтозою, що може свідчити про позитивний вплив мальтози на ріст штаму.

З метою дослідження процесу кислотоутворення штамом було виміряно значення pH та побудовано графіки змін значень pH середовищ, що продемонстровано на рис. 3.

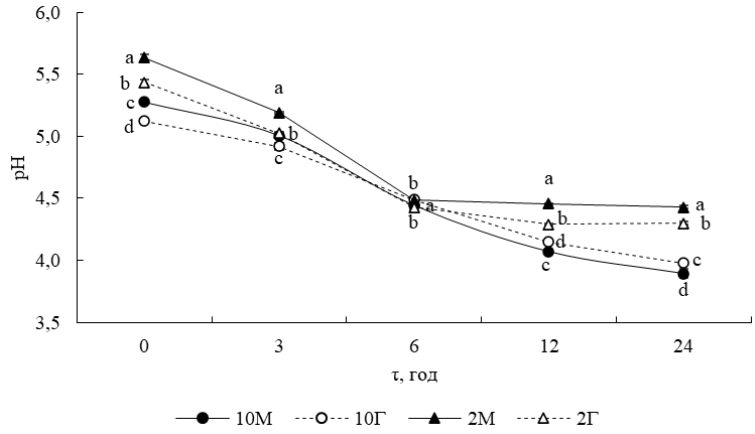


Рис. 3. Динаміка зміни pH при культивуванні штаму *Lmb. fermentum* на середовищах з різними концентраціями мальтози і глюкози

Початкове значення pH для всіх середовищ є різним, що обумовлено різними концентраціями вуглеводів у середовищах та різною буферною здатністю вуглеводів, обраних для проведення дослідження. Проте найвище початкове значення фіксується для 2М і складає 5,63 ± 0,03, а найнижче для 10Г — 5,12 ± 0,01. Такі початкові значення також можуть впливати на здатність до росту культури, що продемонстровано вище, зокрема нижчими ростовими показниками для варіанта 10Г. Відповідно до рис. 3 спостерігається поступове зниження pH для всіх середовищ, збіжні значення фіксуються після 6-годинного вирощування. Примітно, що збіжні значення (групи статистичної значущості) спостерігаються для середовищ 2М (4,48 ± 0,02) і 10Г (4,49 ± 0,02) та 2Г (4,43 ± 0,01) і 10М (4,44 ± 0,02); відсоток вуглеводу у середовищі не впливає на кислотоутворювальну здатність штаму. Отримані значення для 12 і 24 год культивування на середовищах з 2% вуглеводів є аналогічними при попарному порівнянні, тобто не змінюються через можливе вичерпання джерела вуглецю (глюкози або мальтози). У випадку 10-

відсоткових концентрацій спостерігається подальше зниження pH до кінцевих значень 3,89 ± 0,04 та 3,98 ± 0,01 для мальтози і глюкози відповідно. Нижче значення pH для 10М може бути обумовлено вищим початковим значенням pH середовища та продемонстрованою вище здатністю штаму до росту на 10-відсотковій мальтозі.

Для подальшого встановлення закономірностей росту *Lmb. fermentum* на поживних середовищах побудовано графіки споживання вуглеводів, що продемонстровано на рис. 4.

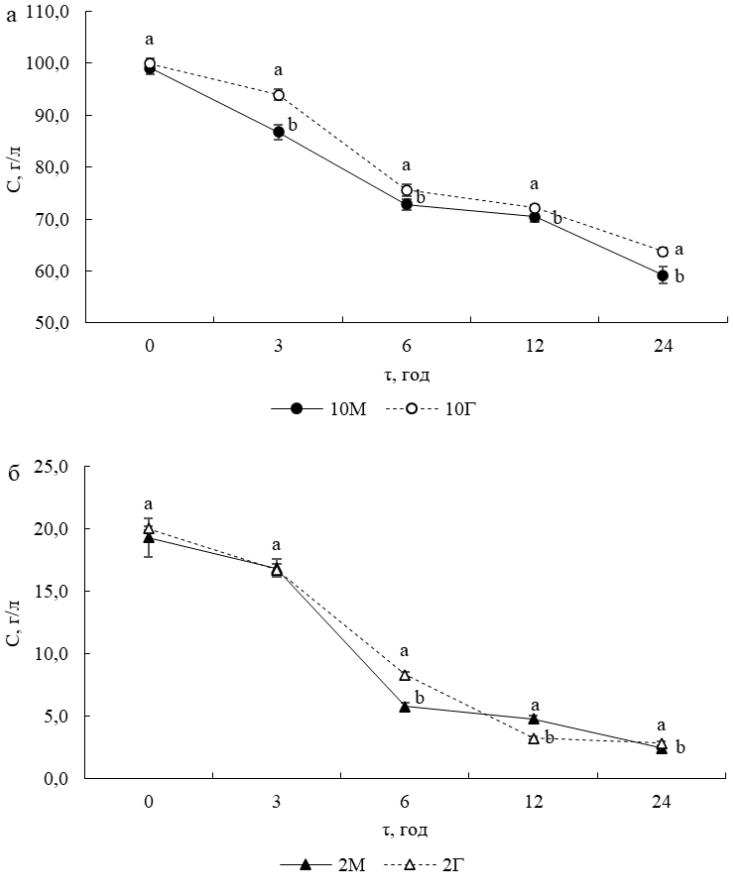


Рис. 4. Динаміка споживання вуглеводів на середовищах з вмістом вуглеводів: а) 10% та б) 2%

Відповідно до побудованих графіків, для обох концентрацій вуглеводів спостерігається зниження вмісту вуглеводів, що обумовлено ростом штаму. У випадку 10-відсоткових концентрацій (рис. 4, а) *Lmb. fermentum* більш активно споживає мальтозу, порівняно з глюкозою, про що свідчать показники отримані на 3, 6 і 24 год культивування. Так, для 10Г значення після 6-годинного вирощування скла-

ли 75,61 ± 1,17 г/л, а для 10М — 72,79 ± 1,09 г/л. Аналізуючи показники 10-відсоткових концентрацій, можна зробити висновок, що культура постійно споживає як мальтозу, так і глюкозу, проте кінцеві значення для 10М є нижчими (59,14 ± 1,62 г/л), що може свідчити про краще споживання мальтози, порівняно з глюкозою. Аналізуючи отримані результати щодо змін pH та здатності до росту штаму, слід зазначити, що такі результати є цілком закономірними. У випадку 2-відсоткових початкових концентрацій вуглеводів не спостерігається рівномірності та поступового їх зменшення. Найбільше споживання зафіксовано впродовж перших 6 год культивування, що збігається з логарифмічною фазою росту культури. Так, для середовища 2М зміна склала 13,51 ± 1,66 г/л та 11,72 ± 0,04 г/л для 2Г. Значення після 12 год вирощування склали 4,75 ± 0,29 г/л та 3,23 ± 0,12 г/л для 2М та 2Г відповідно. Кінцева концентрація для середовища 2М склала 2,43 ± 0,13 г/л та 2,82 ± 0,16 г/л у випадку 2Г. Такі результати узгоджуються з початком фази відмирання культури, що зафіксовано на рис. 2 для середовища 2М та із зупинкою зміни pH у випадку обох середовищ з 2-відсотковим вмістом вуглеводів, яка обумовлена повним вичерпанням джерела вуглецю в поживному середовищі.

Розраховані відсоткові значення споживання вуглеводів представлені на рис. 5.

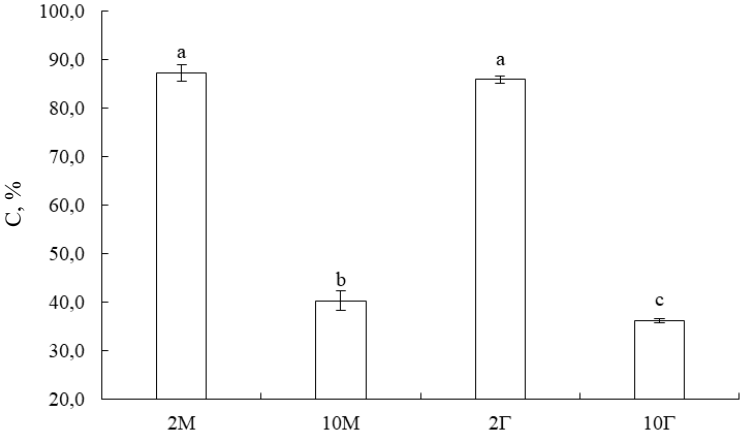


Рис. 5. Порівняння споживання вуглеводів після 24-годинного культивування штаму *Lmb. fermentum*

Відповідно до представленої діаграми спостерігається відсутність статистично значущих відмінностей при порівнянні середовищ 2М та 2Г; кількість спожитих вуглеводів складає 87,32 ± 1,73% та 85,93 ± 0,70% відповідно. Проте у випадку поживних середовищ з 10-відсотковими концентраціями вуглеводів спостерігаються статистично значущі відмінності для мальтози і глюкози. При порівнянні ці значення для мальтози є більшими та складають (40,29 ± 2,01)%, що може свідчити про здатність культури до кращої утилізації мальтози при її високих концентраціях, порівняно з глюкозою.

Для порівняння та оцінки здатності росту штаму *Lmb. fermentum* за логарифмічними значеннями КУО/мл було розраховано питому швидкість росту культури. Порівняння отриманих значень представлено в табл. 1.

Таблиця 1. **Значення питомої швидкості росту при культивуванні *Lmb. fermentum* на середовищах з різними концентраціями вуглеводів**

Середовище	μ, ((КУО·мл$^{-1}$)/год)·10^{-2}
2М	(1,81 ± 0,19)^{a}
2Г	(1,63 ± 0,22)^{a}
10М	(1,95 ± 0,21)^{a}
10Г	(0,75 ± 0,29)^{b}

Відповідно до розрахованих значень і статистичного аналізу виявлено відсутність статистичної значущих відмінностей між значеннями μ для трьох поживних середовищ: 2М — (1,81 ± 0,19)·10^{-2} (КУО·мл$^{-1}$)/год, 10М — (1,95 ± 0,22)·10^{-2} (КУО·мл$^{-1}$)/год та 2Г — (1,63 ± 0,21)·10^{-2} (КУО·мл$^{-1}$)/год. Отже, можна зробити висновок про відсутність інгібуючого ефекту підвищеної концентрації мальтози на досліджуваний штам та однакові значення швидкості росту для 2-відсоткових концентрацій мальтози і глюкози. Проте спостерігається нижчий показник для середовища 10Г (0,75 ± 0,29)·10^{-2} (КУО·мл$^{-1}$)/год, що свідчить про несприятливість росту на середовищі з 10-відсотковим вмістом глюкози.

Отже, встановлені закономірності росту *Lmb. fermentum* на середовищах з підвищеними концентраціями вуглеводів, які є притаманними для пивного сусла, зокрема мальтози та глюкози.

Висновки

У результаті проведених досліджень встановлено здатність до росту *Lmb. fermentum* на середовищі MRS з підвищеними концентраціями вуглеводів (мальтози та глюкози). Виявлено інгібуючий ефект підвищеної концентрації глюкози, що підтверджено розрахованими значеннями питомої швидкості росту культури. Встановлено вищі значення при вирощуванні штаму на середовищі з 2-відсотковим вмістом мальтози, максимальне значення склало 9,06 ± 0,05 КУО/мл після 12-годинного культивування. При культивуванні на середовищах з підвищеними концентраціями вуглеводів спостерігається уповільнена логарифмічна фаза росту, яка обумовлена, певною мірою, нижчими початковими значеннями pH та поступовою утилізацією вуглеводів. Виявлено здатність до кислотоутворення на всіх середовищах, проте мінімальне зафіксоване значення спостерігалось для середовища з 10-відсотковим вмістом мальтози і склало 3,89 ± 0,04.

Отримані результати свідчать про можливість використання досліджуваної культури *Lmb. fermentum* для отримання кислого сусла, оскільки виявлено позитивні результати щодо питомої швидкості росту, споживання вуглеводів та кінцевих значень pH. Подальші дослідження будуть зосереджені на використанні пивного сусла для культивування *Lmb. fermentum*, оцінці кислотоутворення та росту на ньому.

Література

A. Olaoye, O., A. Onilude, A., & Dodd, C. E. (2008). Identification of pediococcus spp. from beef and evaluation of their lactic acid production in varying concentrations of different carbon sources dodd: Identification of pediococcus spp. from beef and evaluation of their lactic acid production in varying. *Advances in Natural and Applied Sciences*, 2(3), 197—207.

Baiano, A. (2020). Craft beer: An overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12693.

Ciosek, A., Rusiecka, I., & Poreda, A. (2019). Sour beer production: Impact of pitching sequence of yeast and lactic acid bacteria. *Journal of the Institute of Brewing*, 126(1), 53—58. https://doi.org/10.1002/jib.590.

Dysvik, A., La Rosa, S. L., De Rouck, G., Rukke, E.-O., Westereng, B., & Wicklund, T. (2020). Microbial dynamics in traditional and modern sour beer production. *Applied and Environmental Microbiology*, 86(14). https://doi.org/10.1128/aem.00566-20.

Endo, A., Futagawa-Endo, Y., & Dicks, L. M. T. (2011). Influence of carbohydrates on the isolation of lactic acid bacteria. *Journal of Applied Microbiology*, 110(4), 1085—1092. https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2011.04966.x.

Ferreira, I. M. P. L. V. O. (2009). Beer carbohydrates. У *Beer in health and disease prevention* (с. 291—298). Elsevier. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-373891-2.00027-4.

Fuso, A., Bancalari, E., Castellone, V., Caligiani, A., Gatti, M., & Bottari, B. (2023). Feeding lactic acid bacteria with different sugars: Effect on exopolysaccharides (EPS) production and their molecular characteristics. *Foods*, 12(1), 215. https://doi.org/10.3390/foods12010215.

Holubchyk, D., Khablenko, A., Dugan, O., Danylenko, S., & Korzhenivska, A. (2024). Probiotic microorganisms in bread sourdoughs. *Food Science and Technology*, 18(1). https://doi.org/10.15673/fst.v18i1.2848.

Kanika Pawar, S., Gehlot, R., Kumar, R., & Sharma, S. (2021). Screening and physico-chemical study of quality jaggery prepared from different early and mid season sugarcane varieties. *Asian Journal of Dairy and Food Research*, (Of). https://doi.org/10.18805/ajdfr.dr-1680.

Palmfeldt, J., Paese, M., Hahn-Hägerdal, B., & van Niel, E. W. J. (2004). The pool of ADP and ATP regulates anaerobic product formation in resting cells of lactococcus lactis. *Applied and Environmental Microbiology*, 70(9), 5477—5484. https://doi.org/10.1128/aem.70.9.5477-5484.2004.

Pawar, K., Gehlot, R., Kumar, R., & Sharma, S. (2021). Screening and physico-chemical study of quality jaggery prepared from different early and mid season sugarcane varieties. *Asian Journal of Dairy and Food Research*, (Of). https://doi.org/10.18805/ajdfr.dr-1680.

Ruiz Rodríguez, L. G., Mohamed, F., Bleckwedel, J., Medina, R., De Vuyst, L., Hebert, E. M., & Mozzi, F. (2019a). Diversity and functional properties of lactic acid bacteria isolated from wild fruits and flowers present in northern argentina. *Frontiers in Microbiology*, 10. https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01091.

Ruiz Rodríguez, L. G., Mohamed, F., Bleckwedel, J., Medina, R., De Vuyst, L., Hebert, E. M., & Mozzi, F. (2019b). Diversity and functional properties of lactic acid bacteria isolated from wild fruits and flowers present in northern argentina. *Frontiers in Microbiology*, 10. https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01091.

Serna Cock, L., & Rodriguez de Stouvenel, A. (2006). Lactic acid production by a strain of Lactococcus lactis subs lactis isolated from sugar cane plants. *Electronic Journal of Biotechnology*, 9(1), 40–45. https://doi.org/10.2225/vol9-issue1-fulltext-10.

Villacreces, S., Blanco, C. A., & Caballero, I. (2022). Developments and characteristics of craft beer production processes. *Food Bioscience*, 45, 101495. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101495.

Xu, Z., Luo, Y., Mao, Y., Peng, R., Chen, J., Soteyome, T., Bai, C., Chen, L., Liang, Y., Su, J., Wang, K., Liu, J., & Kjellerup, B. V. (2020). Spoilage lactic acid bacteria in the brewing industry. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 30(7), 955—961. https://doi.org/10.4014/jmb.1908.08069.

Zhang, J., Bu, Y., Zhang, C., Yi, H., Liu, D., & Jiao, J. (2020). Development of a low-cost and high-efficiency culture medium for bacteriocin lac-b23 production by lactobacillus plantarum J23. *Biology*, 9(7), 171. https://doi.org/10.3390/biology9070171.

Zhuang, S., Shetty, R., Hansen, M., Fromberg, A., Hansen, P. B., & Hobley, T. J. (2016). Brewing with 100% unmalted grains: barley, wheat, oat and rye. *European Food Research and Technology*, 243(3), 447—454. https://doi.org/10.1007/s00217-016-2758-1.

УДК 606:612.3:664.6

THE INFLUENCE OF CULTIVATION CONDITIONS ON IRON ACCUMULATION IN SACCHAROMYCES YEASTS AND PROSPECTS OF THEIR APPLICATION

H. Bondar, V. Krasinko
National University of Food Technologies

Key words:
Yeast
Iron
Cultivation
Dietary supplements
Anemia

Article history:
Received 13.11.2024
Received in revised form 27.11.2024
Accepted 10.0122024

Corresponding author:
H. Bondar
E-mail:
abn2292@gmail.com

Citation: Бондар Г. М., Красінько В. О. (2024). Вплив умов культивування на накопичення заліза в дріжджах роду *Saccharomyces* і перспективи їх використання. *Наукові праці НУХТ*, 30(6), 18—38.
DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-6-4

ABSTRACT

Research on yeast enrichment with iron has become not only a scientific challenge but also a societal necessity because of the growing problem of iron-deficiency anemia. Although iron is widely available, it is poorly absorbed by the body. However, when yeast is enriched with iron, this microelement is converted into an organic form with high bioavailability, making it easier to absorb than inorganic iron compounds.

Optimizing yeast cultivation conditions to improve iron accumulation efficiency is important, as growth conditions significantly impact the yeast cell composition and their ability to absorb and retain metals. The metal absorption process in yeast cells depends on the type of metal ions, the state of the yeast cells, the composition of the nutrient medium, and cultivation conditions such as pH, temperature, aeration, and the presence of other ions in the solution.

Research on yeast iron enrichment has a wide range of directions. A key focus is identifying the optimal source of iron to ensure maximum accumulation of this microelement in yeast cells. Concurrently, significant attention is given to the genetic modification of yeast to create strains with enhanced iron-accumulation capabilities.

An essential aspect of research is studying the effects of iron-enriched yeast on living organisms. Specifically, animal studies were conducted to assess the effectiveness of such yeast in correcting iron-deficiency conditions. Scientists analyze changes in blood parameters, such as hemoglobin and ferritin levels, as well as the overall health of animals that have consumed iron-enriched yeast.

Moreover, the impact of iron-enriched yeast on the sensory and technological properties of food products containing it was also investigated. This is because excessive iron accumulation may alter the color, taste, and other characteristics of food products.

The findings have broad potential applications in the food industry, pharmaceuticals, and agriculture.

DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-6-4

ВПЛИВ УМОВ КУЛЬТИВУВАННЯ НА НАКОПИЧЕННЯ ЗАЛІЗА В ДРІЖДЖАХ РОДУ *SACCHAROMYCES* І ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ

Г. М. Бондар, В. О. Красінько
Національний університет харчових технологій

У світлі зростаючої проблеми залізодефіцитної анемії дослідження збагачення дріжджів залізом стає не лише науковим викликом, а й суспільною необхідністю. Хоча залізо широко розповсюджене в природі, воно погано засвоюється організмом. Проте при збагаченні дріжджів залізом цей мікроелемент перетворюється в органічну форму, яка має високу біодоступність і легше засвоюється, ніж неорганічні сполуки заліза.

Оптимізація умов культивування дріжджів з метою підвищення ефективності накопичення заліза є актуальним напрямком досліджень, оскільки умови росту суттєво впливають на склад клітин дріжджів і їх здатність поглинати та накопичувати метали. Процес поглинання металу клітинами дріжджів є складним і залежить від типу іонів металу, стану клітин дріжджів, складу поживного середовища, а також умов культивування, таких як pH, температура, аерація та наявність інших іонів у розчині.

Дослідження в галузі збагачення дріжджів залізом охоплюють широкий спектр напрямів. Одним з ключових є пошук оптимального джерела заліза, яке б забезпечувало максимальне накопичення цього мікроелемента дріжджовими клітинами. Паралельно з цим, велика увага приділяється генетичним модифікаціям дріжджів. Метою таких модифікацій є створення штамів з підвищеною здатністю до накопичення заліза.

Важливим аспектом досліджень є вивчення впливу дріжджів, збагачених залізом, на живий організм. Зокрема, проводяться дослідження на тваринах з метою оцінки ефективності таких дріжджів у корекції залізодефіцитних станів. Науковці аналізують зміни показників крові, таких як рівень гемоглобіну та феритину, а також загальний стан здоров'я тварин, які отримували дріжджі, збагачені залізом.

Крім того, досліджується вплив збагачення дріжджів залізом на органолептичні й технологічні властивості харчових продуктів, до складу яких вони входять. Це пов'язано з тим, що надмірне накопичення заліза може призвести до зміни кольору, смаку та інших характеристик продуктів.

Дослідження в галузі збагачення дріжджів залізом є багатогранними і спрямованими на розробку ефективних та безпечних способів боротьби з залізодефіцитними станами. Отримані результати можуть знайти широке застосування в харчовій промисловості, фармацевтиці та сільському господарстві.

Ключові слова: *дріжджі, залізо, культивування, дієтичні добавки, анемія.*

Постановка проблеми. Залізо — мікроелемент, за участю якого в організмі ссавців відбуваються найбільш важливі біологічні процеси: дихальна діяльність (транспорт і зберігання кисню гемом), синтез ферментів, ДНК, реплікації клітин,

енергетичний обмін, в якому іон заліза виступає кофактором для гемових та залізо-сірчаних білків, необхідних для функціонування мітохондрій (Correnti, Gammella, Cairo, & Recalcati, 2024). Біодоступність заліза в організмі людини є низькою, особливо якщо в дієті переважають продукти рослинного походження, що містять залізо у формі неорганічного негемового заліза, яке засвоюється організмом гірше, ніж гемове залізо з продуктів тваринного погодження (м'ясо, риба, птиця) (Dutt, Hamza, & Bartnikas, 2022). Низький вміст цього мікроелемента в організмі може бути зумовлений поганим всмоктуванням з харчових продуктів, здебільшого через взаємодію з харчовими компонентами (фітатами, поліфенолами, кальцієм), зниженою біодоступністю заліза у харчових продуктах промислового виробництва (Piskin, Cianciosi, Gulec, Tomas, & Capanoglu, 2022), порушенням регуляції транспорту, метаболізму та резорбції заліза в організмі, крововтратами, запаленнями (Roemhild та ін., 2021).

Складність засвоєння заліза в організмі та велика кількість факторів, що впливає на цей процес, призводить до того, що дефіцит заліза є одним найпоширеніших видів харчової недостатності у світі. Залізодефіцитні стани вважаються глобальною проблемою громадського здоров'я, особливо серед дітей і жінок дітородного віку, і можуть супроводжуватися розвитком залізодефіцитної анемії, зниженням продуктивності праці, імунітету, впливом на когнітивний розвиток (Yang, Li, Feng, & Zeng, 2023). У 2019 р. глобальна поширеність анемії становила 29,9% серед жінок репродуктивного віку та 39,8% серед дітей віком 6—59 місяців (WHO, електронний ресурс). Станом на 2021 р. за оцінкою Міжнародного дослідження тягаря хвороб (Global Burden of Disease, GBD) загальна кількість випадків анемії у світі — 1,92 млрд (GBD, 2021). Проблема дефіциту заліза набуває особливої актуальності і в Україні, особливо в умовах війни. Військові, які тривалий час перебувають в умовах підвищеного стресу, обмеженого доступу до збалансованого харчування та постійного ризику травм, є вразливою групою щодо розвитку залізодефіцитних станів. Постійні фізичні навантаження, стрес і нерегулярне харчування можуть призводити до виснаження запасів заліза в організмі. Це, у свою чергу, є причиною зниження фізичної витривалості, погіршення когнітивних функцій, підвищення ризику інфекцій і зниження боєздатності.

Враховуючи, що дефіцит заліза і, як наслідок, анемія є однією з найпоширеніших проблем зі здоров'ям у світі, особливо серед вразливих груп населення, і має значний вплив на економічний розвиток країн, ВООЗ поставила за мету знизити поширеність анемії вдвічі до 2030 р. (WHO, електронний ресурс).

Серед найбільш поширених способів подолання залізодефіциту можна виділити: пероральний прийом лікарських засобів, дієтичних добавок і вживання продуктів, збагачених залізом (Man та ін., 2022). Проте застосування лікарських засобів і дієтичних добавок із залізом часто викликає побічні реакції, а безпосереднє додавання заліза до харчових продуктів може негативно впливати на їх органолептичні властивості. Це зумовлює пошук нових технологій і способів введення заліза до харчових продуктів для підвищення його біодоступності зі збереженням органолептичних властивостей і мінімізацією побічних реакцій.

Сучасні наукові дослідження приділяють дедалі більше уваги використанню в харчуванні дріжджів, збагачених залізом. Дріжджова біомаса відома як природне джерело білка, амінокислот, вуглеводів і вітамінів групи В (Jach, Serefko, Ziaja, &

Kieliszek, 2022). Зокрема, дріжджі, збагачені залізом, вирізняються високою засвоюваністю, низькою подразнювальною дією та багатим вмістом поживних речовин. У процесі розмноження дріжджів неорганічне залізо перетворюється на органічну форму, що підвищує його біодоступність для організму (Chen та ін., 2024).

Здатність дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* накопичувати різні метали (зокрема і залізо) відкриває широкі перспективи для їх застосування у виробництві харчових продуктів і дієтичних добавок. Збагачення дріжджів металом здійснюється шляхом додавання їх солей у середовище для культивування. Однак поглинання металів дріжджовими клітинами — це складний процес, що залежить від типу іонів металу, видоспецифічності дріжджів, фізіологічного стану клітин, а також фізико-хімічних умов культивування та експериментальних факторів, як-от pH, температура й наявність інших іонів і розчинених органічних сполук у середовищі (Machado, Soares, & Soares, 2010). Умови росту дріжджів можуть істотно вплинути на склад їх клітин і їхню здатність зв'язувати метали, присутні в поживному середовищі.

Зважаючи на викладене вище, виникає актуальна потреба у розробці ефективних технологій для культивування дріжджів роду *Saccharomyces* з метою отримання біомаси, збагаченої біодоступним залізом. Це дасть змогу створити нові функціональні продукти харчування, які допоможуть вирішити проблему дефіциту заліза у вразливих груп населення.

Метою огляду є аналіз наукових публікацій щодо впливу умов культивування та різних джерел заліза на накопичення заліза дріжджами роду *Saccharomyces*, аналітичних методів для кількісної оцінки поглинутого заліза та перспектив практичного застосування збагачених дріжджів роду *Saccharomyces* у харчових продуктах ті дієтичних добавках.

Матеріали і методи. У ході проведення літературного огляду застосовані методи аналізу та синтезу, пошуку інформації та її обробки.

Викладення основних результатів дослідження.

1. Вплив умов культивування на поглинання металів дріжджами роду Saccharomyces. Ключову роль у процесі поглинання металів дріжджами відіграє їх клітинна стінка. Процес біосорбції металів клітинами дріжджів складається з двох етапів: пасивної біосорбції та активної біосорбції (біоакумуляції). Пасивна біосорбція характеризується тим, що іони металів адсорбуються на поверхні клітин за рахунок взаємодії з негативно зарядженими поверхневими функціональними групами, такими як карбоксильна, фосфатна, гідроксильна, аміногрупа, сульфідна та інші (Fadel та ін., 2017; Huang та ін., 2020). Пасивна біосорбція є динамічною рівновагою оборотної адсорбції та десорбції іонів металів (Siddique та ін., 2015), що не залежить від метаболізму і відбувається швидко за кілька хвилин, використовуючи різні механізми зв'язування металу, наприклад, іонний обмін, комплексоутворення, фізичну адсорбцію, осадження або кристалізацію (Bahafid та ін., 2017). Зв'язок металів з дріжджами є нековалентним і залежить від структури клітинної стінки дріжджів і типу металу (Salavatifar, & Khosravi-Darani, 2024).

Перша стадія біоакумуляції полягає в процесі біосорбції, тобто зв'язуванні іонів металів з функціональними групами на поверхні клітини, обміні іонів, комплексоутворенні та осадженні. Друга стадія, транспорт металів через клітинну мембрану, залежить від метаболізму клітин, пов'язаного з активною захисною систе-

мою мікроорганізмів (Hansda, Kumar, & Anshumali, 2016). У дослідженні біосорбції іонів Cr^{6+} та Fe^{3+} клітинами *Streptococcus equisimilis, Saccharomyces cerevisiae* та *Aspergillus niger* було підтверджено, що поглинання іонів металів мікроорганізмами відбувається у два етапи: швидке пасивне поглинання і повільне активне поглинання. Перший етап вважається фізичною адсорбцією, тобто обміном іонів на поверхні клітин, рівновага в кінці швидкої фізичної адсорбції досягається протягом 30—40 хв (Goyal, 2003; Ferraz, 2004; De Rossi, 2018).

Результати численних наукових праць демонструють, що біосорбційна здатність дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* залежить від комплексу взаємопов'язаних факторів. Це стан клітин (вік, життєздатність), властивості іонів металів у водному середовищі (радіус іонів, валентність), умови культивування (склад поживного середовища, джерела вуглецю, азоту) та умови самого процесу біосорбції (pH, температура, час контакту, вихідна концентрація металів, тощо).

Значення pH. Значення pH середовища не лише суттєво впливає на дисоціацію іонів (сполук) на поверхні клітин, але й на хімічні процеси в розчинах металів: гідроліз, утворення комплексів з органічними та/або неорганічними лігандами, окисно-відновні реакції, осадження, на доступність поверхні для біосорбції металів.

Проводилося дослідження ефективності дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* щодо видалення важких металів з водних розчинів. Вивчено вплив pH на біосорбційну здатність. Результати експерименту показали, що поглинання металу відбувалося швидко при значеннях pH 5,0—6,0, а порядок накопичених іонів металу становив Pb>Zn>Cr>Co>Cd>Cu. При значенні pH менше 2,0 спостерігалось зменшення здатності дріжджів поглинати метали. Це пов'язано з конкуренцією іонів водню (H^+) з іонами металів за активні центри на поверхні клітини. Отже, при низьких значеннях pH (менше 2,0) біосорбція практично припиняється, дослідники це пояснили протонуванням функціональних груп на поверхні клітин дріжджів, що призвело до втрати поверхневого негативного заряду і, відповідно, зменшення здатності зв'язувати позитивно заряджені іони металів (Farhan, & Khadom, 2015).

Результати експериментів щодо вивчення впливу pH розчину на процес біосорбції дріжджами *Saccharomyces cerevisiae* іонів Cr^{6+} з водного розчину з концентрацією металу 50 мг/л, показали, що найвища ефективність біосорбції спостерігалася при pH 3, і становила 77,84%. Це може бути пояснено тим, що при pH 3 клітинна стінка *Saccharomyces cerevisiae* була активною та негативно зарядженою, внаслідок цього відбувалась адсорбція позитивно заряджених іонів Cr^{6+} і зменшення концентрації іонів. Тоді як при pH 7 ефективність біосорбції Cr^{6+} становила лише 16,78%, оскільки через нейтральний pH 7 починався процес осадження іонів Cr^{6+}, а клітинні стінки *Saccharomyces cerevisiae* більше не могли оптимально зв'язувати важкі метали (Ibrahim, Djide, & Lapik, 2020).

У дослідженні впливу pH на накопичення заліза дріжджами *Saccharomyces cerevisiae* найбільший приріст біомаси спостерігався в діапазоні pH від 4,0 до 7,0; значення pH також впливало на вміст заліза, максимальна концентрація акумулювання відбувалася при pH 6,0 (Wang, Zhang, Su, Guan, & Ji, 2011).

Екстремальні значення pH, зазвичай, знижують швидкість і ступінь поглинання металу. Біосорбційна здатність катіонів металів зростає разом із підвищенням

рівня pH у сорбційній системі, і ця залежність не є лінійною. При високих значеннях pH (більше 10) може відбуватись осадження комплексів, гідроксидів металів через збільшення кількості іонів OH^-, тому важливо уникати його в експериментальних умовах (Jena, 2022; Kulkarni, 2019).

Отже, pH в межах від 3,5 до 8,0 вважається оптимальним для поглинання металу (Brady, & Duncan, 1994a; Fourest, & Roux, 1992; Sieber, 2024) майже для всіх типів біомаси.

Температура. Температура обмежено впливає на біосорбцію іонів металів у певному діапазоні, що вказує на те, що певною мірою в біосорбції існує іонообмінний механізм. Процес біосорбції, зазвичай, не проводять при високих температурах, оскільки це збільшує експлуатаційні витрати.

Реакції адсорбції є екзотермічними, тому здатність до біосорбції зростає зі зниженням температури. В діапазоні 15—40 °C максимальна рівноважна біосорбційна ємність для іонів Pb^{2+}, Ni^{2+} та Cr^{6+} *S. cerevisiae* досягалася при температурі 25 °C. Зменшення ємності при вищій температурі показало, що процеси біосорбції цих іонів металів на поверхні клітин *S. cerevisiae* є екзотермічними і можуть бути наслідком пошкодження активних центрів зв'язування в біомасі (Özer, & Özer, 2003).

Дослідження впливу різних температур 10 °C, 23 °C та 40 °C на ефективність біосорбції Co^{2+}, Zn^{2+} та Cu^{2+} з водних середовищ на поверхні клітин *Saccharomyces cerevisiae* продемонструвало, що підвищення температури викликало зниження біосорбційної здатності *Saccharomyces cerevisiae* у всіх випадках. Крім того, це зниження набагато більш очевидне у випадку іонів Zn^{2+}, ніж у випадку іонів Cu^{2+} і Co^{2+}. Оптимальною температурою для сорбції іонів металів було визначено значення 23 °C (Savastru, Bulgariu, Zamfir, & Bulgariu, 2022).

З точки зору загального вмісту заліза оптимальною температурою культивування *S. cerevisiae* була обрана температура 30 °C (Wang, Zhang, Su, Guan, & Ji, 2011).

Конкуруючі іони/коіони. Зазвичай біосорбційна здатність одного іона металу може знизитись за наявності в розчині коіонів, включаючи іони й аніони інших металів, однак загальна здатність до поглинання всіх металів у розчинах залишається майже незмінною.

Наприклад, було виявлено, що здатність *S. cerevisiae* сорбувати іони Cr^{6+} значно знижувалась впродовж 24 год через наявність іонів Fe^{3+}, тоді як ця ж концентрація Fe^{3+} майже не впливала на поглинання Cr^{6+} дріжджами *S. equisimilis* та міцеліальною масою *A. niger* (Goyal та ін., 2003). Присутність аніонів також може впливати на біосорбцію іонів металів. Аніони, наявні у розчині, можуть утворювати комплекси з іонами металу і знижувати здатність до біосорбції металу. Зокрема, біосорбційна здатність щодо іонів Ni^{2+} і Cd^{2+} зменшувалась за присутності аніонів етилендіамінтетраацетату (EDTA), сульфату, хлориду, фосфату, карбонату, глутамату, цитрату та пірофосфату за рахунок утворення комплексів (Kapoor, & Viraraghavan, 1997).

Виявлено, що процес біосорбції марганцю дріжджами є чутливим до присутності інших іонів металів у розчині. У контрольному експерименті без додавання інших металів було досягнуто максимальної біосорбції марганцю на рівні 41,3 мг/г біомаси. Однак додаткове внесення інших важких металів призвело до зниження

цього показника до 33 мг/г, що свідчить про конкурентний характер процесу біосорбції. Конкуренція між різними іонами металів за обмежену кількість активних центрів на поверхні дріжджових клітин призводить до зменшення ефективності поглинання кожного з них (Fadel та ін., 2017).

У ході досліджень біосорбції іонів Ni^{2+} та Cd^{2+} з бінарних розчинів металів клітинами *Saccharomyces carlsbergensis* ефективність біосорбції порівнювалась з біосорбцією окремих іонів металів. Було встановлено, що дріжджі *Saccharomyces carlsbergensis* демонструють вищу спорідненість до іонів Cd^{2+} порівняно з Ni^{2+} у процесі біосорбції як з індивідуальних, так і з бінарних розчинів. Конкурентна взаємодія між іонами металів за обмежену кількість активних центрів на поверхні клітин призводила до зниження ефективності поглинання кожного з металів за їх спільної наявності. Морфологічні зміни поверхні дріжджових клітин після сорбції, такі як утворення агрегатів, свідчать про утворення комплексів між іонами металів та функціональними групами біомаси (Kulkarni, Vidya Shetty, & Srinikethan, 2019).

Початкова концентрація іонів металів і біомаси. За сталої кількості біомаси швидкість поглинання іонів металу зростатиме зі збільшенням початкової концентрації металу. У випадку низької концентрації біомаси, іони металу з розчину не тільки адсорбуються на поверхні біомаси, але й потрапляють у внутрішньоклітинний простір через градієнт концентрації іонів металів. Із підвищенням концентрації біомаси *S. cerevisiae* біосорбція збільшується за рахунок більшої кількості доступних місць зв'язування для іонів металів і, отже, більшої кількості зв'язуючих комбінацій (Massoud, Khosravi-Darani, Sharifan, Asadi, &Younesi, 2020).

Поглинання іонів Pb^{2+} зросло з 0,38 мг/г до 2,34 мг/г при збільшенні концентрації біосорбенту на основі надлишкової біомаси пивних дріжджів з 0,5% до 2%. Поглинання свинцю дещо знижувалося, коли концентрація біосорбенту досягала 4% (2 мг/г) (Parvathi, Nagendran, & Nareshkumar, 2007).

Аналогічна ситуація спостерігалась у дослідженні впливу концентрації біомаси (від 4,0 г/л до 40,0 г/л) на ефективність біосорбції досліджуваних іонів металів (Co^{2+}, Zn^{2+} та Cu^{2+}) клітинами *Saccharomyces cerevisiae*. Було встановлено, що біосорбційна здатність мала найбільше значення при дозуванні біосорбенту 4,0 г/л (76,05% для Cu^{2+}, 79,01% для Co^{2+} та 83,37% для Zn^{2+}) у всіх випадках. Збільшення дози біосорбенту призводило до зниження біосорбційної здатності, і цей типовий для процесів біосорбції варіант був обумовлений зменшенням співвідношення між кількістю іонів металу і числом місць зв'язування біосорбенту (Savastru, Bulgariu, Zamfir, & Bulgariu, 2022).

Використання низької концентрації металу не дає змоги виявити справжню максимальну сорбційну ємність біосорбенту, оскільки багато місць зв'язування металу можуть бути не зайняті. Збільшення концентрації металу до повного насичення місць зв'язування біосорбенту виявляє повний потенціал поглинання металу. Після насичення біосорбенту подальше збільшення початкової концентрації металу не буде ефективним. У більшості опублікованих досліджень початкова концентрація металу, використана в експериментальних умовах, становила 5—200 мг/л (Redha, 2020).

Початкова концентрація іонів металу може значно вплинути на сорбційну ємність біомаси. Зі збільшенням концентрації іонів металу сорбційна ємність також

зростала, досягаючи насичення на рівні 30 мг/г і 22 мг/г відповідно для інактивованої та живої біомаси при концентрації іонів Pb^{2+} 300 мг/л. Збільшення початкової концентрації іонів металу до 350 мг/л призводило до зниження здатності до поглинання (El-Sayed, 2013).

Вік клітин, стан клітин (живі чи інактивовані). Жива біомаса завдяки активним метаболічним процесам демонструє високу ефективність і селективність поглинання металів. Однак вона вимагає спеціальних умов культивування і може бути чутливою до токсичного впливу високих концентрацій металів. Інактивована біомаса є більш стабільним і простим у застосуванні сорбентом, але її сорбційна здатність є менш селективною (Ayele, Haile, Alemu, & Kamaraj, 2021). Інактивована біомаса має багато переваг, включаючи високу стійкість до умов навколишнього середовища, більшу толерантність до токсичності, досить швидку регенерацію та поглинання повторного використання, високе відновлення сорбованих металів (Dhankhar, Rajesh, Hooda, & Anju, 2011).

Дріжджові клітини, інактивовані під впливом екстремальних хімічних і фізичних умов, можуть проявляти дуже різні властивості щодо накопичення металу порівняно з живими дріжджами.

Методи попередньої обробки дріжджових клітин *S. cerevisiae* можуть бути фізичними і хімічними. Фізичні методи включають вакуум, сублімацію, кип'ятіння, нагрівання, автоклавування та механічне руйнування. Хімічні методи включають обробку різними органічними та неорганічними реагентами, такими як кислоти та луги, метанол, формальдегід тощо. Встановлено, що ці методи певною мірою покращують біосорбцію металів. Лужна обробка біомаси значно збільшує здатність поглинати метал, тоді як кислотна обробка біомаси майже не впливає на ефективність процесу біосорбції (Mirmahdi, Mofid, Zoghi, Khosravi Darani, & Mortazavian, 2022).

Показано, що інактивована біомаса дріжджів виявилася ефективнішим сорбентом важких металів порівняно з живими клітинами. Це може бути пояснено тим, що відсутність клітинної мембрани в неактивних фізіологічно клітин забезпечує необмежений доступ іонів металів до внутрішніх структур, що значно збільшує сорбційну ємність. Крім того, інактивовані клітини мікроорганізмів не потребують поживних речовин і стійкі до токсичних металів. Фізико-хімічна модифікація біомаси, наприклад, фосфорилювання, дає змогу додатково підвищити її сорбційну здатність за рахунок створення нових активних центрів для зв'язування металів. Так, результати дослідження показали, що фосфорильовані дріжджові клітини здатні ефективно адсорбувати іони кадмію, міді, свинцю та цинку до досягнення вищої адсорбційної ємності (1 ммоль/г сухої клітинної маси), ніж було виявлено раніше для інактивованої біомаси дріжджів без додаткової обробки (Ojima та ін., 2019).

Деградовані клітини також мають більшу доступну площу поверхні та більше центрів зв'язування іонів металів на поверхні через руйнування клітинних мембран.

Склад поживного середовища. Додавання глюкози та інших поживних речовин (цистеїн, амоній сульфат, амоній фосфат) у середовище культивування для біосорбції металів живими клітинами посилює ріст живих клітин і полегшує біосорбцію.

Проте роль глюкози у біосорбції залежить від механізму сорбції металу. При дослідженні сорбції Cu^{2+}, Cr^{6+}, Cd^{2+}, Ni^{2+} живими клітинами *S. cerevisiae* попереднє внесення глюкози у середовище культивування клітин дріжджів дозволило збільшити кількість сорбованого металу, тоді як пряме додавання глюкози під час змішування суспензії дріжджів та іонів металів не впливало на кількість накопиченого металу (Stoll, & Dunkan, 1996). Додавання глюкози до суспензії живих дріжджових клітин за 5 хв до введення Sr^{2+} сприяло стимуляції його поглинання. Це явище було пояснено метаболічно залежним механізмом внутрішньоклітинного накопичення Sr^{2+}, головним чином у вакуолях (Avery, & Tobin, 1992).

Було досліджено вплив різних солей заліза, їхніх концентрацій, а також складу поживних середовищ (на ступінь збагачення металом дріжджів *S. cerevisiae* (LN-17). Склад поживних середовищ та умови культивування наведені в табл. 1.

Таблиця 1. **Концентрація заліза, в мг/г сухої речовини, в біомасі дріжджів залежно від джерела заліза та його концентрації** (Pas, Piskur, Sustaric, & Raspor, 2007)

Сполука заліза	Початкова концентрація Fe у середовищі, мкмоль/л				
	Контроль	10	50	70	100
Ферум (III) хлорид	0,081±0,019	0,449±0,028	1,371±0,249	1,649±0,032	1,979±0,147
Ферум (III) нітрат	0,090±0,003	0,573±0,056	1,407±0,055	1,640±0,070	2,345±0,068
Ферум етилендіамінтетраацетат	0,0072±0,018	0,152±0,015	0,095±0,007	—	0,095±0,003
Ферум (III) цитрат	0,031±0,003	2,290±0,171	1,084±0,058	—	0,547±0,037

На поживному середовищі, яке містило глюкозу, дріжджовий екстракт і пептон (середовище № 1), вдалося досягти концентрації сухої біомаси 2,864±0,037 г/л і вмісту заліза 7,650±0,145 мг/г сухої біомаси. На середовищі з дріжджовим екстрактом, пептоном і сахарозою (середовище № 2) концентрація сухої біомаси становила 2,414±0,042 г/л, а вміст заліза — 7,604±0,044 мг/г сухої біомаси. При використанні дріжджового екстракту, пептону та мальтози (середовище № 3) було отримано 2,627±0,036 г/л сухої біомаси з вмістом заліза 7,622±0,277 мг/г сухої біомаси. На суслі концентрація сухої біомаси склала 2,976±0,071 г/л із вмістом заліза 7,592±0,079 мг/г сухої біомаси. Використання патоки дало змогу отримати 2,364±0,024 г/л біомаси з вмістом заліза 7,281±0,336 мг/г сухої біомаси (Wang, Zhang, Su, Guan, & Ji, 2011).

Отже, варто відзначити, що концентрація заліза у *S. cerevisiae* (LN-17) незначно змінювалась залежно від складу середовища. Враховуючи вартість середовищ, для подальших досліджень було обрано сусло як середовище для культивування.

На наступному етапі було оцінено кількість біомаси та вміст заліза залежно від солі заліза, доданої до сусла, що диктувалось важливістю підбору оптимального джерела заліза для підвищення ефективності збагачення клітин металом. Найбільший вміст заліза в дріжджах — 7,854 Fe мг/г сухих клітин спостерігався із застосуванням ферум (II) сульфату, найменший вміст — 4,564 Fe мг/г сухих клітин із ферум (II) хлоридом. При дослідженні впливу різних концентрацій солей заліза на

приріст біомаси та концентрацію поглинутого металу встановлено, що за концентрації заліза 80—120 мг/л і приріст біомаси, і накопичення заліза були вищими. Оптимальна концентрація Fe у середовищі була визначена як 100 мг/л (Wang, Zhang, Su, Guan, & Ji, 2011).

Аеробність. Результати проведеного моніторингу кінетики росту дріжджової біомаси в напіваеробних та анаеробних умовах свідчать про помітне зростання швидкості росту дріжджових клітин при додаванні іонів заліза вже з самого початку процесу. Поглинання іонів заліза дріжджовою біомасою виявилося значно ефективнішим в анаеробних умовах, порівняно з напіваеробними. Анаеробні умови дали змогу досягти максимального поглинання заліза (10 мг/г сухої дріжджової біомаси) за 12 годин бродіння, тоді як у напіваеробних умовах поглинання було в чотири рази меншим (2,5 мг/г сухої дріжджової біомаси) і виявилося досягнутим лише через 16 год культивування (Stehlik-Tomas, Grba, Stanzer, Vahčić, & Gulan Zetić, 2003).

Природа джерела заліза. Різні солі заліза, додані до середовища культивування дріжджів, впливають на їх ріст і накопичення заліза по-різному.

Отримані результати дослідження процесу поглинання заліза дріжджами із середовища, що містить солі заліза різної концентрації, демонструють, що всі вивчені сполуки заліза, незалежно від концентрації, стимулювали ріст дріжджів порівняно з контрольним варіантом — культивуванням дріжджів без заліза (табл. 1). Із збільшенням концентрації ферум (III) хлориду та ферум (III) нітрату у середовищі до 100 мкмоль/л вміст заліза в біомасі дріжджів *S. cerevisiae* зростав до максимальної концентрації 2 мг Fe/г сухої маси. Додавання солі заліза Fe-EDTA до середовища культивування практично не вплинуло на здатність дріжджів *S. cerevisiae* акумулювати залізо, що, ймовірно, пов'язано з високою стійкістю цього комплексу. Найбільш ефективним джерелом заліза виявився ферум (III) цитрат. Оптимальна концентрація цитрату заліза, яка не призводила до утворення осаду, становила 100 мколь/л. За цієї концентрації максимальне накопичення заліза в клітинах дріжджів досягало близько 13 мг/г сухої маси. Отримані результати свідчать про те, що існує оптимальна концентрація солі заліза для забезпечення ефективного накопичення цього елемента в клітинах дріжджів. Перевищення цієї концентрації призводить до зниження ефективності процесу, що може бути пов'язано з токсичним впливом високих концентрацій іонів заліза на клітини (Pas, Piskur, Sustaric, & Raspor, 2007).

Результати експериментів з культивування дріжджів у присутності різних форм заліза та їх впливу на зростання та збагачення біомаси дріжджів, представлені в літературі, не завжди збігаються в оцінюванні впливу конкретних сполук заліза на показники культивування. Так, після культивування дріжджів на середовищі із ферум (II) хлоридом і ферум (II) сульфатом (концентрація 15 і 25 мг Fe/л), було отримано значення внутрішньоклітинного заліза — 2,832 мг Fe/г сухої речовини, що в 27 разів перевищує кількість заліза, спостережувану в контрольних умовах. Проте на відміну від попереднього дослідження додавання в середовище ферум (III) цитрату не призводило до росту біомаси. Автори пояснили це тим, що пригнічення росту дріжджів, ініційоване лимонною кислотою, залежить від pH середовища. При підвищених рівнях pH лимонна кислота перебуває в більш дисоційованій формі, що підвищує ймовірність хелатування іонів, особливо Ca^{+2} і Mg^{+2}, з поживного середовища. Менші значення внутрішньоклітинного заліза (порівняно з $FeSO_4$ та

$FeCl_2$) могли бути обумовлені pH 4,4 середовища, де ферум цитрат не повністю дисоціював (Gaensly, Picheth, Brand, & Bonfim, 2014).

Внутрішньоклітинний вміст заліза в клітинах дріжджів у процесі культивування із додаванням ферум етилендіамінтетраацетату (Fe-EDTA) становив близько 0,207 мг Fe/г сухої речовини. Ці значення еквівалентні вмісту внутрішньоклітинного заліза у клітинах дріжджів, вирощених у варіанті культивування без додаткового внесення заліза (контроль), 0,103 мг Fe/г сухої речовини, і відповідали значенням, отриманим у дослідженні Pas та ін.

Використання різних форм заліза дає змогу відібрати й охарактеризувати штами дріжджів як чутливі до заліза, так і стійкі до цього елемента. У дослідженні Martinez-Garay були використані дві різні форми заліза ($FeCl_3$ та $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$), що дало змогу виділити штами дріжджів, які чутливі до заліза, а також ті, що демонструють стійкість. Чутливі до заліза штами при підвищенні концентрації заліза у середовищі накопичували його швидше, ніж стійкі штами. Чутливі штами, відібрані в цьому дослідженні, накопичували більше ендогенного заліза (близько 5 мг Fe/г сухої маси), ніж лабораторні та малазійські штами (3 мг Fe/г сухої маси) при вирощуванні на середовищі з додаванням 7 ммоль/л $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$. Чутливі до заліза штами накопичували навіть більше заліза у середовищі із концентрацією 7 ммоль $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$, ніж стійкі до заліза штами при 8 ммоль $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ (від 3 до 4 мг Fe/г сухої маси) (Martínez-Garay, de Llanos, Romero, Martínez-Pastor, & Puig, 2016).

Отже, інтенсивність накопичення заліза дріжджовими клітинами залежить від багатьох факторів, серед яких важливими є умови культивування, такі як склад середовищ та рівень pH, інтенсивність аерації та початкова концентрація заліза. Особливо вагомий вплив має форма, в якій залізо вводиться до середовища. Узагальнені дані щодо умов культивування дріжджів, збагачених залізом та показники накопичення цього елементу наведені в табл. 2.

Таблиця 2. **Умови культивування та джерела заліза, що використовувались для збагачення дріжджів**

Мікроорганізм	Умови культивування дріжджів (джерело вуглецю та азоту; параметри процесу)	Джерела заліза та їх концентрації, що вносяться до середовища	Максимальна кількість накопиченого заліза дріжджами, мг/г сухої речовини	Джерело
Saccharomyces cerevisiae TVG_4	Меляса бурякова, діамонію гідрофосфат, діамонію сульфат; pH середовища 5,0, 30 °C, 24 год	Ферум (III) хлорид — 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9 г/л	—	Stehlik-Tomas та ін., 2003
Saccharomyces cerevisiae ZIM 2155 (S288C)	Глюкоза, сульфат амонію, pH середовища 4,0, 28 °C, 200 об/хв, 24 год	Розчини солей заліза додавали для отримання у середовищі початкових концентрацій 0,1, 1, 10, 50, 100 ммоль/л Fe (III) цитрату або 10, 50, 70, 100 мкмоль/л ферум (III) хлориду, ферум (III) нітрату та Fe—EDTA	13,9	Pas та ін., 2007

Продовження таблиці 2

Saccharomyces cerevisiae LN-17	Поживне середовище 1: глюкоза, дріжджовий екстракт, пептон, глюкоза. Поживне середовище 2: дріжджовий екстракт, пептон, сахароза. Поживне середовище 3: дріжджовий екстракт, пептон, мальтоза. Поживне середовище 4: сахароза, $(NH_4)_2SO_4$, 30 °C 200 об/хв, 60 год, pH середовищ 6,0	Ферум (II) сульфат — 100 мг/л	7,8	Wang та ін., 2011
Saccharomyces cerevisiae	Декстроза, пептон, дріжджовий екстракт, солодовий екстракт, 150 об/хв, 28 °C, 20 год	15 і 25 мг Fe/л ферум (II) сульфату, ферум (III) сульфату, ферум (II) хлориду, ферум (III) хлориду, ферум (III) нітрату, ферум (III) цитрат та Fe—EDTA	2,8	Gaensly та ін., 2014
S. cerevisiae 11 B1	Склад середовища не вказаний, 30 °C, 20 год	200 мкг/мл Fe^{2+} ферум (II) хлориду, ферум (II) сульфату, ферум (III) хлориду, ферум (III) нітрату та ферум (III) цитрат в концентрації 100 мкг Fe/мл	—	Nowosad та ін., 2021
Saccharomyces cerevisiae	Меляса, діамонію сульфат 200 об/хв, 30 °C, 18 год	Ферум (II) сульфат — 5 ммоль/л	1,6	Chen та ін. 2024
Saccharomyces boulardii (ATCC 74068)	Декстроза, пептон, 37 °C, 150 об/хв	Ферум (II) сульфат	1,8	Tafazzoli та ін., 2024
Saccharomyces boulardii (ATCC 74068)	Меляса, 37 °C, 150 об/хв	Ферум (II) сульфат	27	Tafazzoli та ін., 2024

2. Методи кількісної оцінки заліза в біологічних об'єктах. Визначення вмісту заліза у біологічних зразках є багатоетапним процесом. Попередня обробка зразків, спрямована на депротеїнізацію та вивільнення заліза з білкових комплексів, і є критичним етапом. Класичні підходи передбачають використання сумішей хлористоводневої кислоти та перманганату калію (Fish, 1988), проте для забезпечення повного вилучення заліза з дріжджових клітин, що мають міцну клітинну стінку було запропоновано застосовувати більш агресивні реагенти, наприклад, 3% азотну кислоту (Tamarit, Irazusta, Moreno-Cermeño, & Ros, 2006), суміш азотної та хлорної кислот (Chen та ін., 2024), 65% азотної та хлористоводневої кислоти

(Tafazzoli, Ghavami, & Khosravi-Darani, 2024). Кількісне визначення заліза здійснюється за допомогою широкого спектра аналітичних методів, наприклад, атомно-абсорбційної спектрометрії, колориметричного визначення, титрування, флуориметричних, спектрометричних, мас-спектрометричних чи радіоактивних методів, кожен з яких має свої переваги та обмеження.

Оптично-емісійна спектрометрія з індуктивно зв'язаною плазмою (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry, ICP-OES). Це високоточний і чутливий метод аналізу, який дає змогу кількісно визначити вміст заліза у різноманітних зразках у широкому діапазоні концентрацій. Під час аналізу пробу у вигляді розчину вводять у високотемпературну аргонову плазму, де атоми заліза збуджуються і випромінюють світло на характерній довжині хвилі. Інтенсивність цього випромінювання пропорційна концентрації заліза в зразку, що дає змогу проводити точні кількісні визначення заліза в біологічних об'єктах (Costo та ін., 2019, Tafazzoli, 2024; Orłowska, 2023). Недоліком цього методу можна назвати високу вартість і складність апаратури для проведення аналізу.

Атомно-абсорбційна спектрометрія (AAS). Один з найпоширеніших методів визначення заліза в біологічних об'єктах, зокрема в дріжджах (Bağ, 1998; Shin, 2001; Pas, 2007; Pirman, 2012; Kyyaly, 2015). В основі методу лежить явище поглинання світла атомами заліза. Зразок, переведений в атомний стан за допомогою високої температури, взаємодіє зі світловим променем, частково поглинаючи його. Інтенсивність поглиненого світла прямо пропорційна концентрації атомів заліза в аналізованому зразку, що дає змогу проводити точні кількісні визначення. Серед переваг методу можна назвати чутливість, специфічність, можливість проводити аналіз у широкому діапазоні концентрацій заліза. Висока вартість обладнання є недоліком методу.

Флуоресцентні зонди. Для визначення внутрішньоклітинних потоків іонів металів, зокрема і заліза, застосовують флуоресцентні зонди. Їхній принцип роботи заснований на явищі флуоресценції, такий зонд абсорбує світло певної довжини хвилі, і його електрони переходять на більш високі енергетичні рівні. Після переходу електронів в основний стан, зонд випромінює світло в довжині хвилі, що відрізняється від світла, яке він поглинув. Флуоресцентне випромінювання може бути виміряно за допомогою флуоресцентного спектрофотометра або іншого відповідного обладнання. Зміни в флуоресцентному сигналі можуть вказувати на зміни у властивостях середовища, взаємодії з іншими молекулами або інші процеси. Наприклад, перший з флуоресцентних зондів — кальцеїн, зараз є комерційно доступним і широко використовується для моніторингу лабільного заліза в живих системах за допомогою флуоресцентної мікроскопії та флуорометрії (Hirayama, & Nagasawa, 2017).

На відміну від вищезазначених методів, колориметричні та спектрофотометричні методи є економічно вигіднішими, простішими. Ці методи ґрунтуються на вимірюванні змін абсорбції за допомогою хромогенних реагентів (хелаторів). Утворені з такими реагентами комплекси іонів металу та ліганду демонструють специфічні спектри поглинання з характерними кольорами у видимій області електромагнітного спектра. Комплекси метал-іони мають високі константи стабільності та питомий молярний показник поглинання, зміни кольору прямо пропорційні концентрації іонів металу в розчині, що забезпечує точне кількісне визначення

(Smith та ін., 2021). Серед найбільш поширених хелаторів, які застосовуються для визначення заліза в біологічних об'єктах, можна виділити: ферозин (Riemer, Hoepken, Czerwinska, Robinson, & Dringen, 2004); батофенантроліндисульфонова кислота (Tamarit, 2006; Gaensly, 2014); 1,10-фенантролін (Herrera, 2007, Chen, 2024); ферен (Abbasi, Abbina, Gill, Bhagat, & Kizhakkedathu, 2021).

3. Перспективи практичного застосування дріжджів, збагачених залізом. Одним із ефективних способів профілактики та лікування дефіциту заліза є пероральний прийом лікарських засобів і дієтичних добавок, що містять залізо.

Однак їх використання пов'язане з ризиком виникнення побічних ефектів, серед яких найчастіше зустрічаються розлади шлунково-кишкового тракту: нудота, блювота, біль у животі, запор, метеоризм, діарея. Ці симптоми виникають у 40% пацієнтів (von Haehling, Ebner, Evertz, Ponikowski, & Anker, 2019). У зв'язку з цим збагачення залізом харчових продуктів і напоїв з використанням біотехнологічних підходів є перспективним та економічно доцільним підходом для масштабного впровадження (Kumar та ін., 2020).

Забезпечення організму достатньою кількістю заліза та профілактика його дефіциту за допомогою збагачених продуктів харчування має на меті безпечне й ефективне поповнення цього важливого елемента. При виборі харчового продукту для збагачення залізом у промисловому виробництві необхідно врахувати кілька ключових факторів:

1) продукт має бути доступним та широко вживатись всіма соціальними групами;

2) після процедури збагачення залізом продукт має зберегти свої органолептичні властивості;

3) після процедури збагачення організм має легко засвоювати залізо з продукту, тобто біодоступність заліза має бути високою.

Продукти, які містять додаткову кількість заліза, можна розділити на дві групи: спеціалізовані для конкретних груп населення та загальнодоступні для широкого кола людей. Перша група включає продукти, орієнтовані на конкретні категорії людей, такі як вагітні жінки, підлітки з менструальним циклом, жінки в період лактації, діти, новонароджені, люди похилого віку, спортсмени та військові. Друга група продуктів, які містять більше заліза, призначена для загальної профілактики та зменшення ризику дефіциту заліза в населення. З цією метою кількість заліза в основних продуктах харчування, таких як хліб, рис, сіль, сир і соєвий соус, збільшується шляхом додавання органічних і неорганічних солей заліза (Man та ін., 2022).

В останні роки мікроорганізми, особливо дріжджі, використовуються як абсорбенти металів для отримання органічних комплексів мікроелементів, які легше перетравлюються і засвоюються при посиленій біологічній активності. Також вони недорогі у виробництві. Крім низької вартості, збагачені мікроелементами дріжджі можуть ефективно замінити інші неорганічні і органічні мікроелементні харчові добавки (Sun та ін., 2022).

З метою ширшого використання дріжджів, збагачених залізом, науковці прагнуть розробити технології їх застосування у виробництві борошна та хлібобулочних виробів. При цьому особлива увага приділяється вибору найкращого джерела

заліза й оцінці впливу цього процесу на технологічні характеристики та органолептичні властивості кінцевого продукту.

Серед зернових культур основним продуктом для дослідження біодоступності заліза *in vitro* є пшеничне борошно. Найчастіше для досліджень збагачення зернових використовується ферум (II) сульфат у комбінації з аскорбіновою кислотою та натрій етилендіамінтетраацетатом (Quintaes, Barbera, & Cilla, 2017).

У дослідженні впливу добавок заліза на реологічні властивості тіста та технологічну якість хліба з цільнозернового пшеничного борошна результати показали, що додавання різних сполук заліза впливає на реологічні властивості тіста, однак виробництво булочок залишалося можливим. Серед усіх випробуваних сполук заліза ферум—натрій—етилендіамінтетраацетат (NaFeEDTA) виявився найбільш ефективним для збагачення, оскільки мав найвищі рівні розчинності — 44,8%. Мікрокапсульований ферум (II) сульфат і відновлене залізо показали найнижчу біодоступність — 5,4 і 18,3% відповідно (Rebellato та ін., 2017).

Аналогічні дослідження проводилися з пшеничним борошном для випікання французького хліба. Виявилося, що французький хліб, збагачений ферум—натрій—етилендіамінтетраацетатом (NaFeEDTA), забезпечує найвищу ефективність доповнення залізом. У такому хлібі вміст заліза становив 5,08 мг Fe на 100 г сухої речовини, а біодоступність досягала 50,38%. Для порівняння, додавання ферум (II) сульфату забезпечувало загальний вміст заліза 4,33 мг Fe на 100 г сухої речовини при біодоступності 37,76% (Rebellato, Castro Lima, Silva, Steel, & Lima Pallone, 2017).

Серед науковців немає єдиної думки щодо того, яке джерело заліза є найбільш оптимальним для збагачення харчових продуктів. Наприклад, серед ферум (II) хлориду, ферум (III) хлориду, ферум (II) сульфату, ферум (III) нітрату та ферум цитрату найбільша акумуляція заліза дріжджами спостерігалась для ферум (III) хлориду та ферум (III) нітрату. Умови культивування зазначені в табл. 2. З метою інтенсифікації накопичення заліза дослідниками застосовувалось імпульсне електричне поле (PEF), що дало змогу збільшити кількість накопиченого заліза з 18,68 мг Fe/г сухої маси (для контрольної культури з додаванням заліза, але не обробленої PEF) до 48,01 мг Fe/г сухої маси (Nowosad, Sujka, Pankiewicz, Miklavčič, & Arczewska, 2021).

У продовження попереднього дослідження були виготовлені коржі з додаванням дріжджів, збагачених іонами заліза, двома методами: шляхом безпосереднього внесення солі заліза в поживне середовище та додатковим підтриманням накопичення заліза за допомогою імпульсного електричного поля (PEF). Було вивчено потенційну біодоступність заліза в отриманому хлібі, а також досліджено його поживні й антиоксидантні властивості. Відмічена значна різниця в потенційній біодоступності заліза між зразками: хліб, виготовлений з використанням незбагачених дріжджів, містив лише близько 3 мг Fe на 100 г сухої маси, тоді як хліб із збагаченими дріжджами без PEF складав приблизно 266 мг Fe на 100 г сухої маси. Використання збагачених залізом дріжджів за умови дії PEF дало змогу підвищити вміст заліза в коржах майже до 386 мг Fe на 100 г сухої маси (Nowosad, & Sujka, 2021).

Багато публікацій зосереджують увагу на практичному застосуванні дріжджів, збагачених залізом на лабораторних тваринах. Ці дослідження дають змогу оцінити вплив таких дріжджів на рівень гемоглобіну, ферритину та інші показники крові, що характеризують залізоакумулювальні системи організму. Це дає змогу визначити оптимальні дози та форми заліза для ефективної профілактики й лікування залізодефіцитних анемій.

Були проведені дослідження впливу різних концентрацій заліза у дріжджовій біомасі на біодоступність і рівень заліза в печінці щурів. Самців щурів розділили на три групи залежно від дієти. До раціону харчування першої групи додавали дріжджову біомасу, збагачену залізом (20, 35 і 50 мг Fe), другої групи — ферум (II) сульфат (50 мг Fe), до харчування третьої контрольної групи залізо не додавалось. Результати показали значно кращу біодоступність заліза з дріжджової біомаси (на 36%), ніж доступність заліза з раціону, збагаченого неорганічною сіллю. Акумулювання заліза в печінці залежало від концентрації елемента в дріжджовій біомасі. Було виявлено, що в печінці другої групи акумулювалась значно менша кількість заліза, ніж у першій групі (147,9 і 200,4 мкг/г відповідно) (Pirman, & Orešnik, 2012).

Висока біодоступність заліза із збагаченої дріжджової біомаси, але з використанням іншого джерела заліза, підтверджується в наступному дослідженні. Вивчаючи вплив органічних і неорганічних сполук заліза на здоров'я анемічних щурів, було встановлено, що максимальне накопичення заліза в клітинах дріжджів досягало 15 мг/кг за умови використання 32 мМ ферум (III) цитрату. У групи щурів, яких годували дріжджами, збагаченими залізом, спостерігалися найвища біодоступність цього мікроелемента (36,35% у порівнянні з контрольною групою) та підвищена концентрація заліза в тканинах печінки (1,29 мкг/г проти 0,93 мкг/г у контрольній групі). Гістологічний аналіз печінки, нирок, серця та селезінки щурів з цієї групи показав повне усунення тяжких анемічних ушкоджень завдяки вживанню дріжджів, збагачених залізом (Kyyaly, Powell, & Ramadan, 2015).

В іншому дослідженні мишей із залізодефіцитною анемією порівнювали ефективність різних форм заліза: органічної (ферум (II) гліцинат), неорганічної (ферум (II) сульфат) та біологічної (дріжджі *Saccharomyces cerevisiae*, збагачені залізом — Fe-F8). Результати показали, що біологічна форма заліза Fe-F8 значно перевершує інші форми за здатністю відновлювати рівень гемоглобіну, покращувати стан слизової оболонки кишечника та печінки. Концентрація заліза в сироватці крові була найвищою у тварин, які отримували Fe-F8, що свідчить про його високу біодоступність (Chen та ін., 2024).

Промисловий процес збагачення дріжджів залізом вимагає впровадження ресурсозберігаючих технологій для мінімізації негативного впливу на довкілля та підвищення ефективності виробництва. Одним із перспективних напрямів таких технологій є генетична модифікація дріжджів.

Представлені харчові дріжджі *S. cerevisiae*, модифіковані для експресії H-феритину. Ця модифікація суттєво підвищила здатність дріжджів накопичувати залізо. Ефективність дріжджово-феритинового комплексу (YFC) була перевірена на моделях щурів та мавп із дефіцитом заліза. Вживання YFC у щурів покращило рівень гемоглобіну (Hgb), гематокриту (Hct) та підвищило концентрацію заліза у печінці та селезінці. YFC показав вищу ефективність у збільшенні Hgb та Hct порівняно з

сульфатом заліза, навіть за умови меншого споживання заліза протягом того ж періоду. У мавп додавання YFC до раціону значно підвищило рівень гемоглобіну всього за один місяць (James та ін., 2021).

Важливу роль у транспорті та поглинанні заліза, крім феритину, відіграють також сидерофори. Zhang та ін. дослідили роль сидерофорів у транспортуванні заліза в умовах високого вмісту заліза та застосування сидерофорів для збагачення елементами. Результати показали, сидерофор TZT-12 з толерантного до заліза штама (LK1110) сприяв росту дріжджів і збільшував вміст заліза всередині клітин. Максимальний внутрішньоклітинний вміст заліза 14,44 мг/г (більше на 74,65% порівняно з контрольним дослідом) був досягнутий при додаванні 24 мкг/мл TZT-12 до середовища культивування. Дріжджі, збагачені сидерофором-залізом (S-ферум збагачені дріжджі), показали максимальну концентрацію внутрішньоклітинного заліза 59,40 мг/г та були використані для дієти хворих на анемію щурів. Порівняльна оцінка характеристик росту, показників гематологічних тестів і вмісту заліза в органах продемонструвала, що дріжджі, збагачені S-залізом, досягли кращого ефекту у полегшенні симптомів залізодефіцитної анемії у щурів, ніж неорганічне залізо (ферум (II) сульфат) (Zhang та ін., 2021).

Висновки

Наукові публікації, в яких розглядаються результати збагачення дріжджів залізом, демонструють, що процес є досить складним і залежить від багатьох факторів. Оптимізація умов культивування дріжджів і вибір відповідних сполук заліза набуває особливої актуальності для забезпечення максимального накопичення заліза в клітинах та його ефективного використання організмом. Активно досліджуються різноманітні форми заліза та їхня можливість поглинання дріжджовими клітинами для досягнення максимально ефективного збагачення. Слід відмітити, що серед наукових публікацій досить мало досліджень впливу варіабельності умов культивування на кількість накопиченого заліза в дріжджах.

Більшість наукових праць зосереджена на вивченні впливу дріжджів, збагачених залізом, на живий організм. Зокрема, проводяться дослідження на тваринах з метою оцінки ефективності таких дріжджів у корекції залізодефіцитних станів. Аналізуються зміни показників крові, таких як рівень гемоглобіну та феритину, а також загальний стан здоров'я тварин, які отримували дріжджі, збагачені залізом.

Проте, незважаючи на потенційні переваги, використання дріжджів, збагачених мікроелементами, викликає ряд питань щодо безпеки. Відсутність чітких регуляторних норм щодо таких продуктів стимулює проведення додаткових досліджень для оцінки їх біодоступності й токсичності. Важливим напрямком досліджень є вивчення форм, в яких залізо зв'язане в дріжджових клітинах, а також розробка методів виділення та детоксикації цих сполук.

Варто зазначити, що, незважаючи на значні досягнення в галузі аналітичної хімії, визначення вмісту заліза в біологічних зразках все ще залишається складним завданням. Основні виклики пов'язані з гетерогенністю зразків, оскільки біологічні зразки є складними матрицями, що містять велику кількість інших речовин, які можуть інтерферувати із визначенням заліза; низькими концентраціями аналіту, що вимагає використання високочутливих методів аналізу та різноманітністю форм

заліза (вільне, зв'язане з білками, включене до складу складних комплексів), що ускладнює його визначення.

Майбутні дослідження повинні бути спрямовані на розробку нових, більш точних і швидких методів визначення заліза, а також на створення стандартних протоколів для аналізу різних типів біологічних зразків.

Література

Abbasi, U., Abbina, S., Gill, A., Bhagat, V., & Kizhakkedathu, J. N. (2021). A facile colorimetric method for the quantification of labile iron pool and total iron in cells and tissue specimens. *Scientific Reports*, 11(1), 6008. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-021-85387-z.

Ali, A. R. (2020). Removal of heavy metals from aqueous media by biosorption. *Arab Journal of Basic and Applied Sciences*, 27(1), 183—193. DOI: https://doi.org/10.1080/25765299.2020.1756177.

Avery, S. V., & Tobin, J. M. (1992). Mechanisms of strontium uptake by laboratory and brewing strains of *Saccharomyces cerevisiae*. *Applied and Environmental Microbiology*, 58, 3883—3889.

Ayele, A., Haile, S., Alemu, D., & Kamaraj, M. (2021). Comparative utilization of dead and live fungal biomass for the removal of heavy metal: A concise review. *Scientific World Journal*, 2021, 5588111. DOI: https://doi.org/10.1155/2021/5588111.

Bahafid, W., Joutey, N. T., Asri, M., Sayel, H., Tirry, N., & El Ghachtouli, N. (2017). Yeast Biomass: An Alternative for Bioremediation of Heavy Metals. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. DOI: 10.5772/intechopen.70559.

Bag, H., Lale, M., & Türker, A. R. (1998). Determination of iron and nickel by flame atomic absorption spectrophotometry after preconcentration on *Saccharomyces cerevisiae* immobilized sepiolite. *Talanta*, 47(3), 689—696. PMID: 18967373.

Brady, D., & Duncan, J. R. (1994a). Bioaccumulation of metal cations by *Saccharomyces cerevisiae*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 41, 149—154ос 2004;10:317—26.

Chen, Y., Pang, Y., Wan, H. et al. (2024). Production of iron-enriched yeast and its application in the treatment of iron-deficiency anemia. *Biometals*, 37, 1023—1035. DOI: https://doi.org/10.1007/s10534-024-00592-3.

Connor, J. R. et al. (2021). Nutritional yeast ferritin-iron complex: A novel source of dietary iron. *American Journal of Food and Nutrition*, 9(3), 122—131. DOI: https://doi.org/10.12691/ajfn-9-3-5.

Correnti, M., Gammella, E., Cairo, G., & Recalcati, S. (2024). Iron absorption: Molecular and pathophysiological aspects. *Metabolites*, 14(4), 228. DOI: https://doi.org/10.3390/metabo14040228.

Costo, R., Heinke, D., Grüttner, C., Westphal, F., Morales, M. P., Veintemillas-Verdaguer, S., & Gehrke, N. (2019). Improving the reliability of the iron concentration quantification for iron oxide nanoparticle suspensions: a two-institutions study. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 411(9), 1895—1903. DOI: 10.1007/s00216-018-1463-2.

De Rossi, A., Rigon, M. R., Zaparoli, M., & et al. (2018). Chromium (VI) biosorption by *Saccharomyces cerevisiae* subjected to chemical and thermal treatments. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 19179—19186. DOI: https://doi.org/10.1007/s11356-018-2377-4.

Diego Quintaes K., Barberá, R., & Cilla, A. (2017). Iron bioavailability in iron-fortified cereal foods: The contribution of in vitro studies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(10), 2028—2041. DOI: 10.1080/10408398.2013.866543. PMID: 25830598.

Dhankhar, R., & Hooda, A. (2011). Fungal biosorption — an alternative to meet the challenges of heavy metal pollution in aqueous solutions. *Environmental Technology*, 32(5), 467—491. DOI: https://doi.org/10.1080/09593330.2011.572922.

Dutt, S., Hamza, I., & Bartnikas, T. B. (2022). Molecular mechanisms of iron and heme metabolism. *Annual Review of Nutrition*, 42, 311—335. DOI: https://doi.org/10.1146/annurev-nutr-062320-112625.

El-Sayed, M. T. (2013). Removal of lead (II) by *Saccharomyces cerevisiae* AUMC 3875. *Annals of Microbiology*, 63, 1459—1470. DOI: https://doi.org/10.1007/s13213-013-0609-x.

Fadel, M., Hassanein, N. M., Elshafei, M. M., Mostafa, A. H., Ahmed, M. A., & Khater, H. M. (2017). Biosorption of manganese from groundwater by biomass of *Saccharomyces cerevisiae*. *HBRC Journal*, 13(1), 106—113. DOI: https://doi.org/10.1016/j.hbrcj.2014.12.006.

Farhan, S. N., & Khadom, A. A. (2015). Biosorption of heavy metals from aqueous solutions by *Saccharomyces cerevisiae*. *International Journal of Industrial Chemistry*, 6, 119—130. DOI: https://doi.org/10.1007/s40090-015-0038-8.

Ferraz, A. I., Tavares, T., & Teixeira, J. A. (2004). Cr(III) removal and recovery from *Saccharomyces cerevisiae*. *Chemical Engineering Journal*, 105, 11—20.

Fish, W. W. (1988). Rapid colorimetric micromethod for the quantitation of complexed iron in biological samples. *Methods in Enzymology*, 158, 357—364. DOI: https://doi.org/10.1016/0076-6879(88)58067-9.

Fourest, E., & Roux, J. C. (1992). Heavy metal biosorption by fungal mycelial by-products: mechanisms and influence of pH. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 37, 399—403.

Gaensly, F., Picheth, G., Brand, D., & Bonfim, T. M. (2014). The uptake of different iron salts by the yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Brazilian Journal of Microbiology*, 45(2), 491—494. DOI: 10.1590/s1517-83822014000200016.

GBD 2021 Anaemia Collaborators. (2023). Prevalence, years lived with disability, and trends in anaemia burden by severity and cause, 1990—2021: Findings from the Global Burden of Disease Study 2021. *Lancet Haematology*, 10(9), e713—e734. DOI: https://doi.org/10.1016/S2352-3026(23)00160-6.

Goyal, N., Jain, S. C., & Banerjee, U. C. (2003). Comparative studies on the microbial adsorption of heavy metals. *Advances in Environmental Research*, 7, 311—319.

Von Haehling, S., Ebner, N., Evertz, R., Ponikowski, P., & Anker, S. D. (2019). Iron Deficiency in Heart Failure: An Overview. *JACC Heart Failure*, 7(1), 36—46. DOI: 10.1016/j.jchf.2018.07.015. Epub 2018 Dec 12. PMID: 30553903.

Hansda, A., Kumar, V., & Anshumali. (2016). A comparative review towards potential of microbial cells for heavy metal removal with emphasis on biosorption and bioaccumulation. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 32(10), 170. DOI: https://doi.org/10.1007/s11274-016-2117-1.

Herrera, L., Ruiz, P., Aguillon, J. C., & Fehrmann, A. (2007). A new spectrophotometric method for the determination of ferrous iron in the presence of ferric iron. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 44(3), 171—181. DOI: 10.1002/jctb.280440302.

Hirayama, T., & Nagasawa, H. (2017). Chemical tools for detecting Fe ions. *Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition*, 60(1), 39—48. DOI: 10.3164/jcbn.16-70. PMID: 28163381; PMCID: PMC5281535.

Huang, H., Zhao, Y., Xu, Z., Ding, Y., Zhou, X., & Dong, M. (2020). A high Mn(II)-tolerance strain, *Bacillus thuringiensis* HM7, isolated from manganese ore and its biosorption characteristics. *PeerJ*, 8, e8589. DOI: https://doi.org/10.7717/peerj.8589.

Ibrahim, R., Djide, M. N., & Lapik, C. (2020). The influence of solution pH on the absorption of heavy metals Cr(VI) by *Saccharomyces cerevisiae* biomass. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 419(1), 012170. DOI: https://doi.org/10.1088/1755-1315/419/1/012170.

Jach, M. E., Serefko, A., Ziaja, M., & Kieliszek, M. (2022). Yeast protein as an easily accessible food source. *Metabolites*, 12(1), 63. DOI: https://doi.org/10.3390/metabo12010063.

Jena, P. S., Pradhan, A., Nanda, S. P., Dash, A. K., & Naik, B. (2022). Biosorption of heavy metals from wastewater using *Saccharomyces cerevisiae* as a biosorbent: A mini review. *Materials Today: Proceedings*, 67(8), 1140—1146. DOI: https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.07.306.

Kapoor, A., & Viraraghavan, T. (1997). *Fungi as biosorption*. In: Wase DAJ, Forster CF, editors. Biosorbents for Metal Ions. London, UK: Taylor & Francis.

Kulkarni, R. M., Vidya Shetty, K., & Srinikethan, G. (2019). Kinetic and equilibrium modeling of biosorption of nickel (II) and cadmium (II) on brewery sludge. *Water Science and Technology*, 79(5), 888—894. DOI: https://doi.org/10.2166/wst.2019.090.

Kumar, S., Anukiruthika, T., Dutta, S., Kashyap, A. V., Moses, J. A., & Anandharamakrishnan, C. (2020). Iron deficiency anemia: A comprehensive review on iron absorption, bioavailability and emerging food fortification approaches. *Trends in Food Science & Technology*, 99, 58—75. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.02.021.

Kyyaly, M. A., Powell, C., & Ramadan, E. (2015). Preparation of iron-enriched baker's yeast and its efficiency in recovery of rats from dietary iron deficiency. *Nutrition*, 31(9), 1155—1164. DOI: 10.1016/j.nut.2015.04.017.

Machado, M. D., Soares, E. V., & Soares, H. M. V. M. (2010). Removal of heavy metals using a brewer's yeast strain of *Saccharomyces cerevisiae*: Chemical speciation as a tool in the prediction and improvement of treatment efficiency of real electroplating effluents. *Journal of Hazardous Materials*, 180(1—3), 347—353. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.04.037.

Man, Y., Xu, T., Adhikari, B., Zhou, C., Wang, Y., & Wang, B. (2022). Iron supplementation and iron-fortified foods: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(16), 4504—4525. DOI: https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1876623.

Martinez-Garay, C. A., de Llanos, R., Romero, A. M., Martínez-Pastor, M. T., & Puig, S. (2016). Responses of *Saccharomyces cerevisiae* strains from different origins to elevated iron concentrations. *Applied and Environmental Microbiology*, 82(6), 1906—1916. DOI: https://doi.org/10.1128/AEM.03464-15.

Massoud, R., Khosravi-Darani, K., Sharifan, A., Asadi, G. H., & Younesi, H. (2020). The biosorption capacity of *Saccharomyces cerevisiae* for cadmium in milk. *Dairy*, 1(2), 169—176. DOI: https://doi.org/10.3390/dairy1020011.

Mirmahdi, R. S., Mofid, V., Zoghi, A., Khosravi Darani, K., & Mortazavian, A. M. (2022). Risk of low stability *Saccharomyces cerevisiae* ATCC 9763-heavy metals complex in gastrointestinal simulated conditions. *Heliyon*, 8(5), e09452. DOI: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09452.

Nowosad, K., & Sujka, M. (2021). The Use of Iron-Enriched Yeast for the Production of Flatbread. *Molecules*, 26(17), 5204. DOI: 10.3390/molecules26175204. PMID: 34500637; PMCID: PMC8434235.

Nowosad, K., Sujka, M., Pankiewicz, U., Miklavčič, D., & Arczewska, M. (2021). Pulsed Electric Field (PEF) Enhances Iron Uptake by the Yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Biomolecules*, 11(6), 850. DOI: 10.3390/biom11060850. PMID: 34200319; PMCID: PMC8227778.

Ojima, Y., Kosako, S., Kihara, M., Miyoshi, N., Igarashi, K., & Azuma, M. (2019). Recovering metals from aqueous solutions by biosorption onto phosphorylated dry baker's yeast. *Scientific Reports*, 9(1), 225. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-018-36306-2.

Orlowska, A., Proch, J., & Niedzielski, P. (2023). A fast and efficient procedure of iron species determination based on HPLC with a short column and detection in high resolution ICP OES. *Molecules*, 28(11), 4539. DOI: https://doi.org/10.3390/molecules28114539.

Özer, A., & Özer, D. (2003). Comparative study of the biosorption of Pb(II), Ni(II) and Cr(VI) ions onto *S. cerevisiae*: determination of biosorption heats. *Journal of Hazardous Materials B*, 100, 219—229.

Parvathi, K., Nagendran, R., & Nareshkumar, R. (2007). Lead biosorption onto waste beer yeast by-product: a means to decontaminate effluent generated from battery manufacturing industry. *Electronic Journal of Biotechnology*, 10, 92—105.

Pas, M., Piskur, B., Sustaric, M., & Raspor, P. (2007). Iron-enriched yeast biomass-a promising mineral feed supplement. *Bioresource Technology*, 98(8), 1622–1628. DOI: https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.06.002.

Pirman, T., & Orešnik, A. (2012). Fe bioavailability from Fe-enriched yeast biomass in growing rats. *Animal*, 6(2), 221—226. DOI: https://doi.org/10.1017/S1751731111001546. PMID: 22436179.

Piskin, E., Cianciosi, D., Gulec, S., Tomas, M., & Capanoglu, E. (2022). Iron absorption: Factors, limitations, and improvement methods. *ACS Omega*, 7(24), 20441—20456. DOI: https://doi.org/10.1021/acsomega.2c01833.

Rebellato, A. P., Bussi, J., Silva, J. G., Greiner, R., Steel, C. J., & Pallone, J. A. (2017). Effect of different iron compounds on rheological and technological parameters as well as bioaccessibility of minerals in whole wheat bread. *Food Research International*, 94, 65—71. DOI: 10.1016/j.foodres.2017.01.016.

Rebellato, A. P., Castro Lima, J., Silva, J. G. S., Steel, C. J., & Lima Pallone, J. A. (2017). Mineral bioaccessibility in French breads fortified with different forms of iron and its effects on rheological and technological parameters. *Journal of Cereal Science*, 74, 56—63. DOI:10.1016/j.jcs.2017.01.020.

Riemer, J., Hoepken, H. H., Czerwinska, H., Robinson, S. R., & Dringen, R. (2004). Colorimetric ferrozine-based assay for the quantitation of iron in cultured cells. *Analytical Biochemistry*, 331(2), 370—375. DOI:10.1016/j.ab.2004.03.049.

Roemhild, K., von Maltzahn, F., Weiskirchen, R., Knüchel, R., von Stillfried, S., & Lammers, T. (2021). Iron metabolism: Pathophysiology and pharmacology. *Trends in Pharmacological Sciences*, 42(8), 640—656. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tips.2021.05.001.

Salavatifar, M., Khosravi-Darani, K. (2024). Investigation of the simulated microgravity impact on heavy metal biosorption by *Saccharomyces cerevisiae*. *Food Sci. Nutr*., 12(5):3642—3652. DOI: 10. 1002/fsn3.4034. PMID: 38726446; PMCID: PMC11077246.

Savastru, E., Bulgariu, D., Zamfir, C.-I., & Bulgariu, L. (2022). Application of *Saccharomyces cerevisiae* in the biosorption of Co(II), Zn(II), and Cu(II) ions from aqueous media. *Water*, 14(6), 976. DOI: https://doi.org/10.3390/w14060976.

Siddique, S., Rovina, K., Al Azad, S., Naher, L., Suryani, S., & Chaikaew, P. (2015). Heavy metal contaminants removal from wastewater using the potential filamentous fungi biomass: A review. *Journal of Microbial and Biochemical Technology*, 7, 384—393. DOI: 10.4172/1948-5948.1000243.

Sieber, A., Jelic, L. R., Kremser, K., & Guebitz, G. M. (2024). Spent brewer's yeast as a selective biosorbent for metal recovery from polymetallic waste streams. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 12, 1345112. DOI: https://doi.org/10.3389/fbioe.2024.1345112.

Shin, Y. M., Kwon, T. H., Kim, K. S., Chae, K. S., Kim, D. H., Kim, J. H., & Yang, M. S. (2001). Enhanced iron uptake of *Saccharomyces cerevisiae* by heterologous expression of a tadpole ferritin gene. *Applied and Environmental Microbiology*, 67(5), 2261—2266.

Smith, G. L., Reutovich, A. A., Srivastava, A. K., Reichard, R. E., Welsh, C. H., Melman, A., & Bou-Abdallah, F. (2021). Complexation of ferrous ions by ferrozine, 2,2′-bipyridine and 1,10-phenanthroline: Implication for the quantification of iron in biological systems. *Journal of Inorganic Biochemistry*, 220, 111460. DOI: 10.1016/j.jinorgbio.2021.1114.

Stehlik-Tomas, V., Grba, S., Stanzer, D., Vahčić, N., & Gulan Zetić, V. (2003). Uptake of iron by yeast cells and its impact on biomass production. *Acta Alimentaria*, 32(3), 279—287. DOI: https://doi.org/10.1556/AAlim.32.2003.3.8.

Stoll, A., & Duncan, J. R. (1996). Enhanced heavy metal removal from wastewater by viable, glucose-pretreated *Saccharomyces cerevisiae* cells. *Biotechnology Letters*, 18, 1209—1212.

Sun, J., Xu, S., Du, Y., Yu, K., Jiang, Y., Weng, H., & Yuan, W. (2022). Accumulation and enrichment of trace elements by yeast cells and their applications: A critical review. *Microorganisms*, 10(9), 1746. DOI: https://doi.org/10.3390/microorganisms10091746.

Tafazzoli, K., Ghavami, M., & Khosravi-Darani, K. (2024). Production of iron-enriched *Saccharomyces boulardii*: Impact of process variables. *Scientific Reports*, 14(1), 4844. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-024-55433-7.

Tamarit, J., Irazusta, V., Moreno-Cermeño, A., & Ros, J. (2006). Colorimetric assay for the quantitation of iron in yeast. *Analytical Biochemistry*, 351(1), 149—151. DOI: 10.1016/j.ab.2005.12.001.

The global health observatory. Anaemia in women and children. Взято з https://www.who.int/data/gho/data/themes/topics/anaemia_in_women_and_Children.

Wang, Z., Zhang, J., Su, T., Guan, Z., & Ji, M. (2011). Screening of iron- and zinc-enriched yeast strain and optimization of cultivation conditions. Preparative Biochemistry & Biotechnology, 41(3), 278—286. DOI: 10.1080/10826068.2010.539656.

Yang, J., Li, Q., Feng, Y., & Zeng, Y. (2023). Iron deficiency and iron deficiency anemia: Potential risk factors in bone loss. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(8), 6891. DOI: https://doi.org/10.3390/ijms24086891.

Zhang, X.-G., Wang, N., Ma, G.-D., Liu, Z.-Y., Wei, G.-X., & Liu, W.-J. (2021). Preparation of S-iron-enriched yeast using siderophores and its effect on iron deficiency anemia in rats. *Food Chemistry*, 365, 130508. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.13050.

УДК 579.663

ACTION ON COMBINED BIOFILMS OF ESSENTIAL OIL COMPLEX WITH SURFACTANTS SYNTHESIZED BY *ACINETOBACTER CALCOACETICUS* IMB B-7241 IN THE PRESENCE OF BACTERIAL INDUCERS

D. Blagodyr[1], T. Pirog[1,2]
[1]*National University of Food Technologies*
[2]*Institute of Microbiology and Virology of NASU*

Key words:
Biological inducer
Surfactant
Essential oil
Synergism
Dual-species biofilm

Article history:
Received 12.11.2024
Received in revised form 27.11.2024
Accepted 09.12.2024

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

Citation: Благодир Д. О., Пирог Т. П. (2024). Дія на комбіновані біоплівки комплексу ефірних олій з поверхнево-активними речовинами, синтезованими *Acinetobacter calcoaceticus* IMB B-7241 за наявності бактеріальних індукторів. *Наукові праці НУХТ*, 30(6), 39—48.
DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-6-5

ABSTRACT

The degree of destruction of dual-species bacterial biofilms under the action of a complex of tea tree essential oil with *Acinetobacter calcoaceticus* IMB B-7241 surfactants synthesized in the presence of competitive Gram-negative bacteria was investigated. The IMB B-7241 strain was cultured in a liquid medium containing purified glycerol and biodiesel production waste as a carbon source, in equimolar carbon concentrations (3% and 5% by volume, respectively). Live and inactivated cells of the Gram-negative bacterium *Enterobacter cloacae* C-8 were used as inductors, as well as the corresponding supernatant. Inductors were introduced in amount of 2.5—10% (v/v) into a medium in the beginning of *A. calcoaceticus* IMB B-7241 cultivation. *E. cloacae* C-8 was grown in a liquid medium with 0.5% glucose by weight. The degree of biofilm destruction (%) was calculated as the difference between cell adhesion in untreated and biocide-treated (surfactants, oil, and their mixture) wells of a polystyrene plate.

It was found that, depending on the physiological state of the inducer and the degree of glycerol purification in the *A. calcoaceticus* IMB B-7241 cultivation medium, surfactants were synthesized, which in combination with essential oil, more effectively destroyed dual-species biofilms than the corresponding biocides. For example, the degree of destruction of biofilms formed by *Escherichia coli* IEM-1 with *Pseudomonas sp.* MI-2, as well as *Bacillus subtilis* BT-2 with *Staphylococcus aureus* BMS-1, under the influence of the mixture of oil and surfactants was 3—34% higher compared to the use of individual biocide preparations.

Thus, the study demonstrated the potential of using a combination of tea tree oil and *A. calcoaceticus* IMB B-7241 surfactants, synthesized on glycerol of varying quality in the presence of *E. cloacae* C-8, to increase the degree of destruction of combined biofilms.

DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-6-5

ДІЯ НА КОМБІНОВАНІ БІОПЛІВКИ КОМПЛЕКСУ ЕФІРНИХ ОЛІЙ З ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИМИ РЕЧОВИНАМИ, СИНТЕЗОВАНИМИ *ACINETOBACTER CALCOACETICUS* ІМВ В-7241 ЗА НАЯВНОСТІ БАКТЕРІАЛЬНИХ ІНДУКТОРІВ

Д. О. Благодир[1], Т. П. Пирог[1,2]
[1]*Національний університет харчових технологій*
[2]*Інститут мікробіології та вірусології НАНУ*

У статті досліджено ступінь деструкції двовидових бактеріальних біоплівок за дії комплексу ефірної олії чайного дерева з поверхнево-активними речовинами Acinetobacter calcoaceticus IMB B-7241, синтезованими за наявності конкурентних грамнегативних бактерій. Культивування штаму IMB B-7241 здійснювали у рідкому середовищі, що містило як джерело вуглецю очищений гліцерин і відходи виробництва біодизелю в еквімолярній за вуглецем концентрації (об'ємною часткою 3 і 5% відповідно). Як індуктори використовували живі та інактивовані клітини грамнегативних бактерій Enterobacter cloacae C-8, а також відповідний супернатант, які вносили у кількості 2,5—10% у середовище на початку процесу культивування A. calcoaceticus IMB B-7241. E. cloacae C-8 вирощували у рідкому середовищі з глюкозою масовою часткою 0,5%. Ступінь руйнування біоплівки (%) обчислювали як різницю між адгезією клітин у необроблених і оброблених біоцидами (поверхнево-активні речовини, олія, а також їх суміш) лунках полістиролового планшета.

Встановлено, що залежно від фізіологічного стану індуктора і ступеня очищення гліцерину в середовищі культивування A. calcoaceticus IMB B-7241 синтезувалися поверхнево-активні речовини, які у комплексі з ефірною олією ефективніше руйнували двовидові біоплівки, ніж відповідні біоциди. Так, ступінь деструкції біоплівок Escherichia coli IEM-1 з Pseudomonas sp. MI-2, а також Bacillus subtilis БТ-2 з Staphylococcus aureus БМС-1 під впливом суміші олії з поверхнево-активними речовинами був на 3—34% вищим порівняно з використанням монопрепаратів біоцидів.

Отже, у результаті досліджень встановлено можливість використання комплексу олії чайного дерева і поверхнево-активних речовин A. calcoaceticus IMB B-7241, синтезованих на гліцерині різної якості за наявності E. cloacae C-8, для підвищення ступеня руйнування комбінованих біоплівок.

Ключові слова: *біологічні індуктори, поверхнево-активні речовини, ефірні олії, синергізм, двовидові біоплівки.*

Постановка проблеми. Мікробні інфекції, спричинені біоплівками, є серйозною проблемою в медицині і харчовій промисловості (Tan та ін., 2020). Більшість досліджень стосуються одновидових біоплівок (Lohse, Gulati, & Johnson, 2018), проте понад 10 років тому (Peters, & Noverr, 2013) було встановлено, що більшість інфекцій спричинена полімікробними біоплівками.

Мікроорганізми у складі комбінованих біоплівок реалізують синергетичні взаємодії, характеризуються вищим ступенем колонізації поверхонь і вищою біологічною активністю. У свою чергу, це призводить до посилення патогенності та резистентності до антимікробних препаратів (Ceresa, Fracchia, Fedeli, Porta, & Banat, 2021; Jeong, Khan, Tabassum, Cho, & Kim, 2024). Так, інфекції, зумовлені полімікробними біоплівками, є причиною значно вищої смертності порівняно з спричиненими одновидовими біоплівками (El-Halfawy, Czarny, & Flannagan, 2020; Sivakumar та ін., 2023).

Огляд останніх досліджень і публікацій. Поодинокі літературні дані свідчать про використання мікробних поверхнево-активних ліпопептидів і гліколіпідів для руйнування двовидових біоплівок (Ceresa та ін., 2021), хоча частіше зустрічаються повідомлення про деструкцію комбінованих бактеріальних і бактеріально-дріжджових біолівок за наявності антибіотиків (Rodrigues, 2017; Sivakumar та ін., 2023).

Оскільки полімікробні біоплівки часто виявляються стійкими до дії монобіоцидів, натепер для їх руйнування зазвичай використовують комплекс антимікробних сполук (Tan та ін., 2020; Bai та ін., 2022; Cho та ін., 2024). Зокрема, достатньо ефективним є використання ефірних олій у поєднанні з антибіотиками (Budzyńska, Różalska, Sadowska, & Różalska, 2017; Maione та ін., 2022). Проте актуальною проблемою сьогодення є стрімкий розвиток мультирезистентних мікроорганізмів, стійких до антибіотиків (Huemer, Mairpady Shambat, Brugger, & Zinkernagel, 2020), що є причиною пошуку альтернативних природних біоцидів.

Нетоксичні, біодеградабельні й екологічно безпечні мікробні поверхнево-активні речовини (ПАР) є ефективними деструкторами одновидових біоплівок як у вигляді монопрепаратів, так і в комплексі з іншими антимікробними (Ceresa, Fracchia, Fedeli, Porta, & Banat, 2021). Унікальний механізм антимікробної активності поверхнево-активних речовин, який полягає в порушенні цілісності цитоплазматичної мембрани практично унеможливлює появу стійких до цих сполук патогенних мікроорганізмів (Puyol McKenna та ін., 2024).

У попередніх дослідженнях було встановлено здатність до ефективної деструкції одновидових біоплівок поверхнево-активних речовин *Acinetobacter calcoaceticus* IMB B-7241, синтезованих за наявності конкурентних грампозитивних бактерій (Pirog, & Ivanov, 2022), а також синергізм біологічної активності (у тому числі й здатності до руйнування біоплівок) суміші ефірних олій та поверхнево-активних, утворених штамом IMB B-7241 у присутності еукаріотичного індуктора (Pirog, Kliuchka, & Kliuchka, 2023). Натепер внесення у середовище культивування продуцентів вторинних метаболітів (у тому числі й поверхнево-активних речовин) конкурентних мікроорганізмів (індукторів) є простим, дешевим і ефективним механізмом регуляції їх синтезу та біологічної активності (Wang, Miao, Qiao, Xu, & Cheng, 2022; Zhao та ін., 2022).

Інтерес до ефірних олій як складників комплексу з ПАР *A. calcoaceticus* IMB B-7241 для руйнування двовидових біоплівок був зумовлений тим, що ефірні олії складаються з багатьох біологічно активних компонентів, і тому малоймовірним видається виникнення резистентних до них мікроорганізмів (Feudjieu та ін., 2023). Зазначимо, що на сьогодні в доступній літературі нам не вдалося знайти повідомлень про використання суміші мікробних поверхнево-активних речовин з іншими

біоцидами, у тому числі й ефірними оліями, для руйнування двовидових бактеріальних чи бактеріально-дріжджових біоплівок.

Мета досліджень: дослідити ступінь деструкції двовидових бактеріальних біоплівок за дії комплексу ефірної олії чайного дерева з поверхнево-активними речовинами *A. calcoaceticus* IMB B-7241, синтезованими за наявності конкурентних грамнегативних бактерій.

Матеріали і методи. Основним об'єктом досліджень був виділений із забрудненого нафтою зразка ґрунту штам нафтоокиснювальних бактерій, ідентифікований як *Acinetobacter calcoaceticus* K-4 (Pirog, Shevchuk, Voloshina, & Gregirchak, 2005). Зазначений штам зареєстрований у Депозитарії мікроорганізмів Інституту мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного Національної академії наук України за номером IMB B-7241.

Як біологічний індуктор використовували *Enterobacter cloacae* C-8, як тест-культури для дослідження здатності ПАР, олії та їх суміші руйнувати біоплівки — штами бактерій *Escherichia coli* IEM-1, *Bacillus subtilis* БТ-2, *Staphylococcus aureus* БМС-1, *Pseudomonas* sp. MI-2 з колекції живих культур кафедри біотехнології і мікробіології Національного університету харчових технологій.

Культивування штаму IMB B-7241 здійснювали в рідкому середовищі, що містило як джерело вуглецю очищений гліцерин і відходи виробництва біодизелю в еквімолярній за вуглецем концентрації (об'ємною часткою 3 і 5% відповідно). Як індуктори використовували живі та інактивовані клітини *E. cloacae* C-8, а також відповідний супернатант, які вносили у кількості 2,5—10% у середовище на початку процесу культивування *A. calcoaceticus* IMB B-7241. Детально склад середовища для вирощування продуцента ПАР та спосіб підготовки індуктора описано раніше (Пирог, Іванов, & Ярова, 2021).

У дослідженнях використовували розчини ПАР *A. calcoaceticus* IMB B-7241 різної концентрації (5—640 мкг/мл).

Дослідження ступеня деструкції двовидових бактеріальних біоплівок здійснювали як описано в праці (Zacchino, Butassi, Cordisco, & Svetaz, 2017; Jeong, Khan, Tabassum, Cho, & Kim, 2024) з деякими модифікаціями. Для формування біоплівки в лунки полістиролового планшету вносили 180 мкл м'ясо-пептонного бульйону (МПБ) та 20 мкл суміші суспензії однодобових бактеріальних тест-культур, вирощених на м'ясо-пептонному агарі. Суміш інкубували упродовж 24 год при оптимальній для бактеріальних тест-культур температурі. Далі культуральну рідину зливали у кристалізатор і вносили у мікропланшети 180 мкл свіжого МПБ і 20 мкл суміші суспензії тест-культур, і знову інкубували впродовж наступних 24 год. Такого вирощування упродовж 48 год достатньо для формування біоплівки у лунках мікропланшета. Через 48 год культуральну рідину зливали у кристалізатор, а в лунки мікропланшета (з попередньо сформованою на них біоплівкою тест-культури) вносили по 200 мкл препаратів ПАР, ефірної олії чайного дерева (використана від виробника «Ароматика» без додаткової обробки), а також їх суміші певної концентрації (5—640 мкг/мл). У контрольні варіанти (лунки) вносили стерильну водопровідну воду (200 мкл). Через 24 год експозиції лунки тричі промивали 200 мкл дистильованої води і визначали кількість адгезованих клітин за допомо-

гою спектрофотометричним методом. Ступінь руйнування біоплівки (%) обчислювали як різницю між адгезією клітин у необроблених і оброблених ПАР біоцидами лунках полістиролового планшета.

Усі дослідження були проведені в трьох повторах і кожен експеримент включав у себе 3—5 паралельних вимірювань. Статистичну обробку експериментальних даних здійснювали, як описано раніше (Пирог, Іванов, & Ярова, 2021). Вважали, що відмінності між середніми показниками є статистично достовірними, якщо значення $p<0,05$.

Викладення основних результатів дослідження. За проведеними дослідженнями було встановлено, що деструкція подвійної біоплівки *B. subtilis* БТ-2 та *S. aureus* БМС-1 під впливом комплексу ефірної олії чайного дерева та ПАР, утворених у середовищі з очищеним гліцерином за наявності індуктора у різному фізіологічному стані, була вищою на 6—25 і 3—7% порівняно з показниками, встановленими для монопрепаратів олії і поверхнево-активних речовин відповідно табл. 1. Причому найвищий ступінь руйнування подвійної біоплівки (72—82%) спостерігався лише за найвищих з досліджуваних (320—640 мкг/мл) концентрацій ефірної олії та ПАР у суміші.

Таблиця 1. **Деструкція двовидової біоплівки *Bacillus subtilis* БТ-2 з *Staphylococcus aureus* БМС-1 за дії комплексу ефірної олії чайного дерева з поверхнево-активними речовинами *A. calcoaceticus* IMB B-7241 і відповідних монобіоцидів**

Антимікробна сполука (субстрат для біосинтезу ПАР)	Індуктор у середовищі культивування продуцента ПАР	Руйнування (%) біоплівки за концентрації (мкг/мл)			
		640	320	160	80
Олія	—	64	50	46	41
Поверхнево-активні речовини (очищений гліцерин)	Контроль (без індуктора)	44	43	40	36
	Живі клітини	75	70	н.в.	н.в.
	Інактивовані клітини	70	67	60	54
	Супернатант	74	71	66	61
Поверхнево-активні речовини (відходи виробництва біодизелю)	Контроль (без індуктора)	35	30	26	23
	Живі клітини	73	65	61	54
	Інактивовані клітини	68	66	59	51
	Супернатант	75	69	61	58
Комплекс поверхнево-активних речовин (очищений гліцерин) з олією	Контроль (без індуктора)	57	51	48	41
	Живі клітини	82	75	67	66
	Інактивовані клітини	70	72	66	61
	Супернатант	76	72	69	68
Комплекс поверхнево-активних речовин (відходи виробництва біодизелю) з олією	Контроль (без індуктора)	65	58	53	46
	Живі клітини	88	86	79	73
	Інактивовані клітини	79	75	75	73
	Супернатант	87	86	78	75

Примітки: під час визначення ступеня деструкції біоплівки похибка не перевищувала 5%; н.в. — не визначали.

У той же час ступінь руйнування цієї подвійної біоплівки грампозитивних бактерій після обробки сумішшю ефірної олії і поверхнево-активних речовин, синтезованих на відходах виробництва біодизелю за наявності усіх типів дріжджового

індуктора, був на 15—34 і 11—27% вищим, ніж за дії тільки олії чи тільки препаратів ПАР (див. табл. 1). Зазначимо, що на відміну від дії комплексу олії з ПАР, синтезованими на очищеному гліцерині, під впливом суміші олії з поверхнево-активними речовинами, утвореними на відходах виробництва біодизелю, високий ступінь руйнування двовидової біоплівки (73—88%) досягався у діапазоні всіх досліджуваних концентрацій біоцидів (80—640 мкг/мл).

Підвищення деструкції двовидової біоплівки *B. subtilis* БТ-2 та *S. aureus* БМС-1 спостерігали у разі використання у комплексі з олією не тільки поверхнево-активних речовин, синтезованих за наявності дріжджів у різному фізіологічному стані, а й ПАР, утворених у середовищі без індуктора (див. табл. 1). Так, ступінь руйнування біоплівки під впливом поверхнево-активних речовин, синтезованих на очищеному гліцерині і відходах виробництва біодизелю становив 36—44 і 23—35%, а після обробки комплексом цих ПАР з олією підвищувався на 5—13 і 23—30% відповідно.

На наступному етапі досліджували деструкцію двовидової біоплівки грамнегативних бактерій *E. coli* ІЕМ-1 з *Pseudomonas* sp. МІ-2 після обробки сумішшю ефірної олії чайного дерева з поверхнево-активними речовинами, синтезованими *A. calcoaceticus* ІМВ В-7241 за наявності прокаріотичного індуктора в різному фізіологічному стані (табл. 2).

Таблиця 2. **Вплив поверхнево-активних речовин *A. calcoaceticus* ІМВ В-7241, ефірної олії чайного дерева та їх суміші на двовидову біоплівку *Escherichia coli* ІЕМ-1 з *Pseudomonas* sp. МІ-2**

Антимікробна сполука (субстрат для біосинтезу ПАР)	Індуктор у середовищі культивування продуцента ПАР	Руйнування (%) біоплівки за концентрації (мкг/мл)			
		640	320	160	80
Олія	—	67	65	61	56
Поверхнево-активні речовини (очищений гліцерин)	Контроль (без індуктора)	60	58	53	47
	Живі клітини	75	73	70	68
	Інактивовані клітини	71	71	68	66
	Супернатант	74	72	70	67
Поверхнево-активні речовини (відходи виробництва біодизелю)	Контроль (без індуктора)	58	56	54	50
	Живі клітини	81	82	80	80
	Інактивовані клітини	79	77	73	69
	Супернатант	84	83	80	77
Комплекс поверхнево-активних речовин (очищений гліцерин) з олією	Контроль (без індуктора)	69	67	64	60
	Живі клітини	89	87	84	83
	Інактивовані клітини	85	86	84	80
	Супернатант	90	88	89	84
Комплекс поверхнево-активних речовин (відходи виробництва біодизелю) з олією	Контроль (без індуктора)	62	63	60	56
	Живі клітини	93	90	89	86
	Інактивовані клітини	83	82	79	77
	Супернатант	95	93	93	88

Експерименти показали, що незалежно від умов культивування *A. calcoaceticus* ІМВ В-7241 (очищений гліцерин чи відходи виробництва біодизелю як субстрат, середовище без індуктора, за наявності живих, інактивованих клітин *E. cloacae* С-

8 чи відповідного супернатанту) синтезовані поверхнево-активні речовини в комплексі з ефірною олією ефективніше руйнували комбіновану біоплівку грамнегативних бактерій порівняно з дією тільки ефірної олії чи тільки препаратів ПАР. Зазначимо, що така закономірність спостерігалася у всьому діапазоні досліджуваних концентрації біоцидів (80—640 мкг/мл). Винятком була деструкція біоплівки під впливом суміші олії з ПАР, синтезованими у середовищі з відходами виробництва біодизелю чи очищеним гліцерином без індуктора (56—62 і 60—69% відповідно), що була практично такою самою, як і після обробки тільки олією (56—67%). У той же час за дії на двовидову біоплівку комплексу олії з препаратами ПАР, утвореними за наявності у середовищі з обома субстратами індуктора у вигляді живих, інактивованих клітин чи супернатанту, ступінь її руйнування був на 16—32 і 4—19% вищим порівняно з обробкою монопрепаратами ефірної олії і поверхнево-активних речовин відповідно (див. табл. 2).

Зазначимо, що натепер у літературі є небагато інформації про деструкцію полівидових біоплівок за дії комплексних препаратів біоцидів, зокрема суміші ефірних олій чи їх компонентів з антибіотиками (Budzyńska, Różalska, Sadowska, & Różalska, 2017; Maione та ін., 2022), полілактатом (Scaffaro, Lopresti, D'Arrigo, Marino, & Nostro, 2018), суміші наночастинок хітозану з куркуміном (Tan, Leonhard, Moser, Ma, & Schneider-Stickler, 2020), ε-полі-*L*-лізином (Bai та ін., 2022), наночастинок золота з фукуїданом (Tabassum та ін., 2023).

Так, у праці (Maione та ін., 2022) показано, що за дії суміші міртенолу (складова ефірної олії мирту звичайного) з антибіотиками каспофунгіном або меропенемом ступінь руйнування бактеріально-дріжджової біоплівки *Klebsiella pneumoniae* та *Candida auris* досягав 80%, проте був нижчим за деструкцію такої біоплівки (100%) у разі використання міртенолу як монопрепарату.

В іншій праці (Budzyńska, Różalska, Sadowska, & Różalska, 2017) автори повідомили про позитивний ефект від використання ефірної олії гвоздики у комплексі з антибіотиками для руйнування дріжджово-бактеріальної біоплівки *C. auris* і *S. aureus*. Так, деструкція біоплівки за дії суміші ефірної олії з флуконазолом і мупіроцином становила 58,6 та 61,1% відповідно, що у 4 і 10 разів вище, ніж за використання антибіотиків окремо. Після обробки цієї біоплівки трикомпонентною сумішшю (обидва антибіотики і ефірна олія гвоздики) ступінь руйнування був вищим майже у 5 разів порівняно з дією монопрепаратів біоцидів.

Scaffaro із співавт. (Scaffaro, Lopresti, D'Arrigo, Marino, & Nostro, 2018) також встановили синергічний ефект дії комплексу карвакролу (компонент ефірних олій) з полімолочною кислотою на двовидову біоплівку *S. aureus* і *Candida albicans*, деструкція якої досягала 88—96%, що вище, ніж після обробки монопрепаратом карвакролу.

У праці (Tan, Leonhard, Moser, Ma, & Schneider-Stickler, 2019) показано, що ступінь руйнування двовидової дріжджово-бактеріальної біоплівки *S. aureus* і *C. albicans* під впливом комплексу 2-амінобензімідазолу та куркуміну у концентрації 200 мкг/мл становив 73,3%, що вище ніж за використання даних антимікробних сполук окремо.

Tan із співавт. (Tan та ін., 2020) встановили, що суміш куркуміну з позитивно зарядженими наночастинками хітозану у концентрації 400 мкг/мл ефективніше руйнувала двовидову біоплівку *S. aureus* і *C. albicans*, ніж куркумін (деструкція

84,36 і 70% відповідно).

У праці (Bai та ін., 2022) показано, що за дії комплексу наночастинок хітозану та ε-полі-*L*-лізину на двовидову біоплівку *Listeria monocytogenes* з *S. aureus* кількість клітин бактерій у біоплівці знижувалася у 3 і 10 разів відповідно. Після обробки подвійної біоплівки *L. monocytogenes* з *Pseudomonas aeruginosa* сумішшю наночастинок хітозану з ε-полі-*L*-лізином спостерігали зниження клітин *L. monocytogenes* у 20 разів, у той час кількість клітин *P. aeruginosa* залишалася без змін.

Cho із співавт. (Cho та ін., 2024) встановили синергізм дії комплексу ε-полі-*L*-лізину з лізоцимом на комбіновану біоплівку *L. monocytogenes* і *P. aeruginosa.* Після обробки біоплівки сумішшю лізоциму (5 мг/мл) та ε-полі-*L*-лізину (1,2 та 4 мінімальних інгібуючих концентрацій) кількість клітин *L. monocytogenes* і *P. aeruginosa* зменшувалася у 33—50 разів, у той час як за дії монопрепаратів — всього у 5—7 разів.

У праці (Pati, Kurata, Horseman, & Pierce, 2021) досліджували вплив комплексу ε-полі-*L*-лізину з хітозаном на трикомпонентну біоплівку *P. aeruginosa, S. aureus* і *C. albicans*. Показано, що після обробки комбінованим біоцидом полівидової біоплівки через 24 і 48 год ступінь її руйнування становив 84 та 70% відповідно.

Tabassum із співавт. (Tabassum та ін., 2023) досліджували здатність суміші наночастинок золота з фукуїданом руйнувати бактеріально-дріжджові біоплівки *C. albicans* і *S. aureus*/*Streptococcus mutans*. Після обробки двовидової біоплівки *C. albicans* і *S. aureus* комплексним біоцидом у концентрації 2048 мкг/мл вміст клітин дріжджів і бактерій знижувався у 24 і 29 разів відповідно. За дії комплексу наночастинок золота з фукуїданом у концентрації <2048 мкг/мл на біоплівку *C. albicans* з *S. mutans* кількість дріжджових і бактеріальних клітин зменшувалася у 4,8 і 5,8 раза відповідно. Зазначимо, що антибіоплівкова активність суміші наночастинок золота з фукуїданом була дещо нижчою щодо двовидових біоплівок порівняно з активністю даного комплексного препарату щодо біоплівок тільки бактерій чи тільки дріжджів. Так, після обробки одновидових бактеріальних і дріжджової біоплівок спостерігали зниження чисельності клітин *S. aureus*, *S. mutans* і *C. albicans* у 6, 8,4 і 8 разів відповідно.

Висновки

Отже, в результаті проведеного дослідження встановлено синергізм антибіоплівкової активності щодо двовидових біоплівок грампозитивних і грамнегативних бактерій суміші ефірної олії чайного дерева з поверхнево-активними речовинами, синтезовании *A. calcoaceticus* IMB B-7241 на гліцерині різної якості за наявності прокаріотичного індуктора *E. cloacae* C-8 у різному фізіологічному стані.

Література

Пирог, Т. П., Іванов, М. С., Ярова, Г. А. (2021). Антимікробна активність поверхнево-активних речовин *Acinetobacter calcoaceticus* IMB B-7241, синтезованих за наявності біологічних індукторів. *Наукові праці НУХТ*, 27(4), 43—52. doi: 10.24263/2225-2924-2021-27-4-6.

Bai, X., Xu, L., Singh, A. K., Qiu, X., Liu, M., Abuzeid, & Bhunia, A. K. (2022). Inactivation of polymicrobial biofilms of foodborne pathogens using epsilon poly-*L*-lysin conjugated chitosan nanoparticles. *Foods*, 11(4), 569. doi: 10.3390/foods11040569.

Budzyńska, A., Różalska, S., Sadowska, B., & Różalska, B. (2017). *Candida albicans/Staphylococcus aureus* dual-species biofilm as a target for the combination of essential oils and fluconazole or

mupirocin. *Mycopathologia*, 182(11—12), 989—995. doi:10.1007/s11046-017-0192-y.

Ceresa, C., Fracchia, L., Fedeli, E., Porta, C., & Banat, I. M. (2021). Recent advances in biomedical, therapeutic and pharmaceutical applications of microbial surfactants. *Pharmaceutics*, 13(4), 466. doi:10.3390/pharmaceutics1304046.

Ceresa, C., Rinaldi, M., Tessarolo, F., Maniglio, D., Fedeli, E., Tambone, E., & Fracchia, L. (2021). Inhibitory effects of lipopeptides and glycolipids on *C. albicans-Staphylococcus* spp. dual-apecies biofilms. *Frontiers in Microbiology*, 11, 545654. doi:10.3389/fmicb.2020.545654.

Cho, A. J., Han, S., Nahar, S., Her, E., Kang, J. G., & Ha, S. D. (2024). Synergistic effects of ε-poly-l-lysine and lysozyme against *Pseudomonas aeruginosa* and *Listeria monocytogenes* biofilms on beef and food contact surfaces. *Meat Science*, 214, 109534. doi:10.1016/j.meatsci.2024.109534.

El-Halfawy, O. M., Czarny, T. L., & Flannagan, R. S. (2020). Discovery of an antivirulence compound that reverses *β*-lactam resistance in MRSA. *Nature Chemical Biology*, 16, 143—149. https://doi.org/10.1038/s41589-019-0401-8

Feudjieu, E. G., Kemegne, G. A., Tchinda, F. C., Tchamgoue, D. A., Ndedi, E. D. F. M., Matchuenkam, G. S., & Agbor, G. A. (2023). Synergistic effects of essential oils and antibiotics against some bacterial strains. *Journal of Drug Discovery and Therapeutics*, 13(6), 73—82. doi:10.22270/jddt.v13i6.5860.

Huemer, M., Mairpady Shambat, S., Brugger, S. D., & Zinkernagel, A. S. (2020). Antibiotic resistance and persistence — implications for human health and treatment perspectives. *EMBO Reports*, 21(12), doi:10.15252/embr.202051034.

Jeong, G., Khan, F., Tabassum, N., Cho, K., & Kim, Y. (2024). Strategies for controlling polymicrobial biofilms: a focus on antibiofilm agents. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 64(2), 107243. doi:10.1016/j.ijantimicag.2024.107243.

Lohse, M., Gulati, M., & Johnson, A. (2018). Development and regulation of single- and multi-species *Candida albicans* biofilms. *Nature Reviews Microbiology*, 16, 19—31. https://doi.org/10.1038/nrmicro.2017.107.

Maione, A., La Pietra, A., de Alteriis, E., Mileo, A., de Falco, M., Guida, M., & Galdiero, E. (2022). Effect of myrtenol and its synergistic interactions with antimicrobial drugs in the inhibition of single and mixed biofilms of *Candida auris* and *Klebsiella pneumoniae*. *Microorganisms*, 10(9), 1773. doi:10.3390/microorganisms10091773.

Pati, B. A., Kurata, W. E., Horseman, T. S., & Pierce, L. M. (2021). Antibiofilm activity of chitosan/epsilon-poly-*L*-lysine hydrogels in a porcine *ex vivo* skin wound polymicrobial biofilm model. *Wound Repair and Regeneration*, 29(2), 316—326. doi:10.1111/wrr.12890.

Peters, B. M., & Noverr, M. C. (2013). *Candida albicans-Staphylococcus aureus* polymicrobial peritonitis modulates host innate immunity. *Infection and Immunity*, 81, 2178—2189.

Pirog, T., & Ivanov, M. (2022). Destruction of biofilms by surfactants synthesized by *Acinetobacter calcoaceticus* IMV B-7241 in the presence of competitive microorganisms. *Ukrainian Food Journal*, 11(2), 291—301. doi.10.24263/2304-974X-2022-11-2-9.

Pirog, T., Kliuchka, I., & Kliuchka, L. (2023). Synergetic antimicrobial activity of a mixture of essential oils and *Acinetobacter calcoaceticus* IMV B-7241 surfactants synthesized in the presence of the eukaryotic inducer. *Ukrainian Food Journal*, 12(3), 458—472. https://ufj.nuft.edu.ua/indexpreen.html?doi=10.24263/2304-974X-2023-12-3-11.

Pirog, T. P., Shevchuk, T. A., Voloshina, I. N., & Gregirchak, N. N. (2005). Use of claydite-immobilized oil-oxidizing microbial cells for purification of water from oil. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 41(1), 51—55. https://doi.org/10.1007/s10438-005-0010-z.

Puyol McKenna, P., Naughton, P. J., Dooley, J. S. G., Ternan, N. G., Lemoine, P., & Banat, I. M. (2024). Microbial biosurfactants: antimicrobial activity and potential biomedical and therapeutic exploits. *Pharmaceuticals* (Basel), 17(1),138. doi:10.3390/ph17010138.

Rodrigues, M. E., Lopes, S. P., Pereira, C. R., Azevedo, N. F., Lourenço, A., Henriques, M., & Pereira, M. O. (2017). Polymicrobial ventilator-associated pneumonia: fighting *in vitro Candida albicans-Pseudomonas aeruginosa* biofilms with antifungal-antibacterial combination therapy. *PLoS One*. 12(1):e0170433. doi:10.1371/journal.pone.0170433.

Scaffaro, R., Lopresti, F., D'Arrigo, M., Marino, A., & Nostro, A. (2018). Efficacy of poly(lactic

acid)/carvacrol electrospun membranes against *Staphylococcus aureus* and *Candida albicans* in single and mixed cultures. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102(9), 4171—4181. doi: 10.1007/s00253-018-8879-7.

Sivakumar, S., Sithivinayagam, A., Krishnasamy, B., Govindarajan, D. K., Kothandan, R., & Kandaswamy, K. (2023). A sustainable approach to control biofilms infections and reduce medical waste: catheters coated with antibiotics inhibit single and dualspecies biofilms. *Maejo International Journal of Energy and Environmental Communication*, 5(1), 50—56. https://doi.org/10.54279/mijeec.v5i1.249294.

Tabassum, N., Khan, F., Kang, M. G., Jo, D. M., Cho, K. J., & Kim, Y. M. (2023). Inhibition of polymicrobial biofilms of *Candida albicans-Staphylococcus aureus*/*Streptococcus mutans* by fucoidan-gold nanoparticles. *Marine Drugs*, 21(2), 123. doi:10.3390/md21020123.

Tan, Y., Leonhard, M., Moser, D., Ma, S., & Schneider-Stickler, B. (2019). Antibiofilm efficacy of curcumin in combination with 2-aminobenzimidazole against single- and mixed-species biofilms of *Candida albicans* and *Staphylococcus aureus. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 174, 28—–34. doi:10.1016/j.colsurfb.2018.10.079.

Tan, Y., Ma, S., Moser, D., Han, F., Leonhard, M., & Schneider-Stickler, B. (2020). Preparation and antibiofilm studies of curcumin loaded chitosan nanoparticles against polymicrobial biofilms of *Candida albicans* and *Staphylococcus aureus. Carbohydrate Polymers*, 241, 116254. doi:10.1016/j.carbpol.2020.116254.

Wang, X. F., Miao, C. H., Qiao, B., Xu, S. J., & Cheng, J. S. (2022). Co-culture of *Bacillus amyloliquefaciens* and recombinant *Pichia pastoris* for utilizing kitchen waste to produce fengycins. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 133(6), 560—566. https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2022.02.009.

Zacchino, S. A., Butassi, E., Cordisco, E., & Svetaz, L. A. (2017). Hybrid combinations containing natural products and antimicrobial drugs that interfere with bacterial and fungal biofilms. *Phytomedicine*, 37, 14—26. doi:10.1016/j.phymed.2017.10.021.

Zhao, S., Li, F., Yang, F., Ma, Q., Liu, L., Huang, Z., ..., & Gu, P. (2022). Microbial production of valuable chemicals by modular co-culture strategy. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 39(1):6. doi:10.1007/s11274-022-03447-6.

УДК 174:658.3:664

PROFESSIONAL ETHICS IN THE PERSONNEL MANAGEMENT SYSTEM OF FOOD INDUSTRY COMPANIES

O. Dragan
National University of Food Technologies

Key words:
Professional ethics
Personnel manager
Personnel management system
Code
Rules
Regulations
CSR
Company
Food industry

Article history:
Received 04.11.2024
Received in revised form 18.11.2024
Accepted 29.11.2024

Corresponding author:
O. Dragan
E-mail:
eidragan@ukr.net

Citation: Драган О. І. (2024). Професійна етика в системі менеджменту персоналу компаній харчової промисловості. *Наукові праці НУХТ*, 30(6), 49—57.
DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-6-6

ABSTRACT

The article is devoted to the issue of professional ethics in the personnel management system of food industry companies. The development and formation of professional ethics in the best companies according to the rating of 2023, 2024 — IDS Ukraine, Nestle, Coca-Cola Beverages Ukraine and MHP was studied on the basis of regulation in Codes, Programs, Standards of Conduct, Sustainability Reports. Negative consequences and risks of non-compliance with professional ethics in the HR management system for companies' business were generalized: reduced motivation and incentives for staff; increased turnover; dismissal of highly qualified employees; reduced employee loyalty to the company; reduced productivity and increased lost working time; increased reputational risks for the development of the company's employer brand. The author's definition of "personnel manager ethics" was formed, which was observed within the framework of the company's job responsibilities and values and was associated with socially responsible personnel management, which regulated norms, rules, standards of behavior on the basis of Codes, programs, and compliance technologies. The demanded ethical professional issues that are within the competence of a human resources manager of food industry company were substantiated. The ethics of adherence to the principles of fairness, diversity and inclusiveness is especially relevant for companies. To analyze the state of professional ethics in the studied food production company, a survey of employees was conducted to determine the level of satisfaction with ethical issues in the activities of HR managers for 2021—2023. The results obtained showed that over 3 years, there was an improvement in the level of satisfaction with ethical issues in the field of competencies of HR managers at the enterprise due to employees' compliance with the Code of Professional Ethics, development of corporate culture, emotional and psychological support and cohesion of employees during the war. Measures for further development of professional ethics in food industry companies were proposed.

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

ПРОФЕСІЙНА ЕТИКА В СИСТЕМІ МЕНЕДЖМЕНТУ ПЕРСОНАЛУ КОМПАНІЙ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

О. І. Драган
Національний університет харчових технологій

У статті досліджено розвиток і формування професійної етики в найкращих компаніях за рейтингом 2023 і 2024 років — IDS Ukraine, Nestle, Кока Кола Беверіджиз Україна і МХП на підставі регламентації в кодексах, програмах, стандартах поведінки, звітах сталого розвитку. Узагальнені негативні наслідки та ризики, до яких призводить недотримання норм професійної етики в системі менеджменту персоналу для бізнесу компаній: зниження рівня мотивації і стимулювання персоналу; підвищення плинності; звільнення висококваліфікаційних працівників; зниження рівня лояльності працівників до компанії; зниження продуктивності праці та збільшення втрат робочого часу; зростання репутаційних ризиків щодо розвитку бренду роботодавця компанії.

Сформовано авторське визначення етики менеджера персоналу, яка дотримується в межах посадових обов'язків і цінностей компанії та пов'язана із соціально-відповідальним менеджментом персоналу, що регламентує норми, правила, стандарти поведінки на підставі кодексів, програм, технологій комплаєнсу. Обґрунтовані затребувані етичні професійні питання, які знаходяться в компетенції менеджера персоналу компанії харчової промисловості. Особливо актуальним для компаній є етика дотримання принципів справедливості, різноманітності та інклюзивності. Для аналізу стану професійної етики в дослідженій компанії, яка займається виробництвом харчових продуктів, було проведено опитування працівників для визначення рівня задоволеності з етичних питань в діяльності менеджерів персоналу за 2021—2023 роки. Отримані результати свідчать, що за 3 роки відзначається покращення рівня задоволеності з етичних питань у сфері компетенцій менеджерів персоналу на підприємстві завдяки впровадження Кодексу професійної етики, розвитку корпоративної культури, емоційно-психологічної підтримки і згуртованості працівників під час війни. Запропоновані заходи щодо подальшого розвитку професійної етики компаній харчової промисловості.

Ключові слова: *професійна етика, менеджер персоналу, система менеджменту персоналу, кодекс, правила, норми, КСВ, компанія, харчова промисловість.*

Постановка проблеми. Розвиток професійної етики в компаніях забезпечує високий репутаційний рівень як надійного партнера та роботодавця. Професійна етика, якої дотримуються компанії-лідери ринку харчової промисловості, є ефективним інструментом дотримання норм і стандартів поведінки персоналу в концепції сталого розвитку. Водночас актуальності набуває дослідження професійної етики в системі менеджменту персоналу компаній, коли пріоритетами стають інтелектуальний потенціал, підбір висококваліфікованих працівників, залучення, утримання талантів за різними напрямками діяльності на принципах справедливості, різноманітності та інклюзивності.

Аналіз останніх досліджені і публікацій. Останні публікації свідчать про неоднастайність науковців у питаннях професійної етики в межах різних сфер діяльності (банки, освіта, юриспруденція тощо), професій (державних службовців, суддів, журналістів, медиків, викладачів тощо); середовища (міжнародне, регіональне, виробниче тощо).

В. Липчанський, досліджуючи професійну етику в контексті соціальної відповідальності підприємців та управлінських кадрів, пропонує розроблення корпоративних кодексів, які включають принципи і правила, засновані на положеннях, що містяться в кодексах професійної етики і міжнародних стандартах ділової поведінки (Липчанський, 2020).

У праці (Орлова, & Бірюченко, 2022) зазначається, що поняття «етика бізнесу» та «корпоративна соціальна відповідальність» взаємопов'язані, адже етичні норми є основою для реалізації концепції соціальної відповідальності бізнесу, тому що управління бізнесом на засадах КСВ впливає на формування та трансформацію ключових норм етики бізнесу.

У межах КСВ підприємства формується соціальна відповідальність за різними видами діяльності — соціальний маркетинг, соціально-відповідальний менеджмент персоналу тощо, для яких теж застосовуються специфічні етичні норми і правила поведінки.

При дослідженнях соціально-відповідального менеджменту персоналу звертають увагу на розвиток соціально-відповідальних трудових практик, які охоплюють питання дотримання професійної етики в трудових колективах, особистості, топ-менеджменту, керівників (Могилевська, 2023).

Науковці у праці (Остапчук, Бірюченко, & Орлова, 2023) доводять, що під етикою в HR-менеджменті варто розуміти сукупність норм і правил поведінки в комунікаційній діяльності співробітників суб'єкта господарювання як по вертикалі, так і по горизонталі для забезпечення внутрішньої системи цінностей у процесі професійної діяльності. М. Іващенко акцентує увагу на тому, що порушення етики, зазвичай, відбувається в категоріях: поведінка та культура, поводження з працівниками та різноманітність і дискримінація (Іващенко, 2021).

Зарубіжні науковці також розглядають питання покращення професійної етики у взаємозв'язку з системою менеджменту персоналу. Зокрема, результати досліджень (Al-Tarawneh, 2020) свідчать про високий ступінь прихильності до бізнес етики в усіх практиках HRM з точки зору найму, відбору, навчання, винагороди та оцінки продуктивності працівників.

У (Branko, Cvijanović, & Simonović, 2015) зазначається, що важливі етичні питання включають: етичний аналіз вибору, спілкування та поведінки співробітників, ставлення менеджерів і власників до працівників, безпеку, якість і досвід роботи, винагороду.

Результати дослідження, наведені у (Zaim, Wisker, & Acikgoz, 2021), свідчать про тісний зв'язок між етичною поведінкою керівників і підлеглих та результатами діяльності фірми.

Отже, професійна етика працівників у системі менеджменту персоналу компаній є актуальним і цікавим напрямком для проведення досліджень.

Метою дослідження є узагальнення теоретико-прикладних підходів до розвитку професіональної етики в менеджменті персоналу компаній харчової промисловості.

Матеріали і методи. В основу дослідження покладено системний підхід до професіональної етики в системі менеджменту персоналу. Для визначення рівня задоволеності з етичних питань у розрізі компетенцій менеджера персоналу компанії харчової промисловості використані загальнонаукові методи: аналіз, синтез, індукція і дедукція, узагальнення, опитування. Дослідження базується на власних авторських розробках, матеріалах фахових і зарубіжних видань, інформаційних порталів про діяльність компаній харчової промисловості.

Викладення основних результатів дослідження. В Україні раз на рік визначається рейтинг найкращих компаній-роботодавців. Критеріями для порівняння є офіційне працевлаштування, середній рівень заробітної плати, можливості для кар'єрного зростання, наявність тренінгів і навчання, програм стажувань для студентів, співпраця із ЗВО, відгуки працівників щодо задоволеності роботою в конкретній компанії (Дефіцит, 2023). Компаніями харчової промисловості, які очолили рейтинг у 2023 р., стали IDS Ukraine, Nestle, Кока Кола Беверіджиз Україна.

Дослідимо більш детально питання професійної етики працівників у цих компаніях з метою вивчення досвіду найкращих лідерів.

Компанія IDS Ukraine — найбільший національний виробник бутильованої питної води (Моршинська, Миргородська), який вже понад 25 років працює на ринку України і має близько 3000 працівників. У компанії ухвалено Антикорупційну програму, де представлено пункт «Професійна етика», у якому наголошується, що співробітники компанії під час виконання своїх функціональних обов'язків зобов'язані неухильно додержуватися загальновизнаних етичних норм поведінки та вимог Кодексу поведінки компанії. Співробітники компанії діють об'єктивно, незважаючи на особисті інтереси, особисте ставлення до будь-яких осіб, на свої політичні погляди, ідеологічні, релігійні або інші особисті погляди чи переконання. Співробітники компанії зобов'язуються не використовувати свої повноваження в інтересах будь-яких політичних партій та/або політиків, та/або громадських об'єднань, та/або для задоволення своїх приватних інтересів та інтересів афільованих осіб (IDS Ukraine, 2024).

Компанія Nestle — одна з найбільших компаній світу у сфері виробництва продуктів харчування та напоїв, яка представлена у 187 країнах. В Україні Nestlé працює з грудня 1994 р. і має близько 5800 працівників (Nestle, 2024). Згідно із Звітом сталого розвитку компанії ділова етика та дотримання вимог відповідності є основою для створення спільних цінностей. Наголошується, що чесність, справедливість і прозорість — це зобов'язання згідно з Кодексом ділової поведінки та Корпоративними бізнес-принципами компанії. Комплексна система дотримання вимог допомагає співробітникам діяти правильно та захищати і зміцнювати репутацію Nestlé. У 2020 р. був запущений оновлений тренінг з дотримання Корпоративних бізнес-принципів, який включає в себе позицію компанії щодо сталості, прав людини, різноманітності та інклюзивності, а також принципи прозорості та відкритості у спілкуванні, що є обов'язковим для всіх працівників компанії (Nestle, 2024).

Компанія «Кока Кола Беверіджиз Україна», що входить до Coca-Cola HBC Group, провідного ботлера продукції The Coca-Cola Company, була відкрита в Україні у 1992 році. На підприємстві в Україні працюють понад 1,1 тис. працівників. У компанії прийнято Кодекс ділової поведінки, якого дотримуються всі працівники. Кодекс включає такі розділи: культура чесності і порядності (Зобов'язання. Правила користування); відданість компанії принципам чесності та порядності (Права людини, розмаїття й інклюзивність. Ділова документація. Обґрунтоване використання активів Coca-Cola HBC. Захист інформації та операційних активів. Робота з клієнтами та постачальниками. Конфлікти інтересів); чесність і порядність у контексті взаємодії поза межами компанії (Боротьба з хабарництвом. Техніка безпеки, охорона праці та навколишнього середовища. Чесна ринкова конкуренція та дотримання законів про конкуренцію. Конфіденційність і захист персональних даних. Операції з цінними паперами компанії. Санкції); Порядок реалізації положень Кодексу (Загальні положення. Тренінги. Розслідування) (Coca-Cola, 2024.)

У рейтинг 50 топ-найкращих роботодавців 2024 р. увійшла компанія МХП — міжнародна компанія у сфері харчових та агротехнологій, яка посіла 9 місце (проти 34 у 2023 р.) (Чуловська, 2024). У компанії вагома увага приділена питанням професійної етики. Так, прийнята Програма ділової етики та комплаєнсу МХП, яка прагне забезпечити культуру доброчесності та відповідність ділової практики компанії — закону, міжнародним регуляціям та етичним принципам ведення бізнесу. Кодекс етичної поведінки для всіх співробітників компанії включає такі розділи (МХП, 2024):

- цінності компанії;
- норми і політики МХП;
- права і повноваження співробітників;
- правила користування активами компанії;
- відносини з бізнес-партнерами;
- принципи чесної конкуренції;
- конфлікт інтересів і підкуп;
- корпоративна соціальна відповідальність.

Крім Кодексу, прийнято ще декілька документів з професійної етики:

- *Кодекс бізнес партнера МХП*, який намагається запропонувати орієнтири та пояснити очікування компанії від усіх партнерів стосовно ділової етики, прав людини, відносин із працівниками, охорони праці та інших тем, пов'язаних з відповідальною діловою практикою;

- *Декларацію доброчесності МХП*, яка є юридично обов'язковою угодою та передумовою співпраці з МХП і має на меті застосування підходу «нульової толерантності» до корупції;

- *Заяву щодо різноманітності МХП,* яка активно впроваджує різноманітність як спосіб підвищення ефективності на основі визнання цінності, прийняття, поваги до різноманітності, унікального досвіду, культур, ідентичностей та поглядів різних людей;

- *Лінію довіри МХП*, яка впроваджена задля того, щоб кожен працівник і партнер компанії мав можливість бути почутим.

На нашу думку, етика менеджера персоналу, яка дотримується в межах посадових обов'язків і цінностей компанії, пов'язана із соціально-відповідальним менеджментом персоналу, який регламентує норми, правила, стандарти поведінки на підставі кодексів, програм, технологій комплаєнсу.

Етичні професійні питання, які знаходяться в компетенції менеджера персоналу компанії харчової промисловості, представлено на рис. 1.

Рис. 1. Професійна етика в діяльності менеджерів персоналу компанії харчової промисловості, складено автором

Недотримання норм професійної етики може викликати ризики для бізнесу компаній та відобразитися на їхній діяльності негативним чином. Ці наслідки можуть включати:

- призначення юридичних покарань, таких як штрафи або конфіскація;
- припинення ділових зв'язків із зацікавленими сторонами;
- зниження рівня мотивації і стимулювання персоналу;
- зниження продуктивності праці та збільшення втрат робочого часу;
- підвищення плинності працівників;
- звільнення висококваліфікованих талановитих працівників;
- зниження рівня лояльності працівників до компанії;
- зростання репутаційних ризиків щодо розвитку бренду роботодавця компанії.

Для аналізу стану професійної етики в дослідженій компанії, яка займається виробництвом харчових продуктів, було проведено анонімне опитування працівників для визначення рівня задоволеності з етичних питань у розрізі функцій менеджера персоналу за шкалою 100 балів і підсумком середньоарифметичного для кожної позиції — *задоволений; незадоволений; хотілося б позитивних змін; важко відповісти.*

Результати опитування щодо рівня задоволеності станом професійної етики в дослідженій компанії у 2021 р. свідчать, що питома частка працівників (58,4%) надали відповідь «задоволені». Водночас питома частка працівників, які надали відповідь «незадоволені», «хотіли б позитивних змін у цьому питанні» і «важко відповісти» у підсумку склала 41,6%.

У кінці 2021 р. в компанії був запроваджений Кодекс професійної етики з урахуванням основних принципів: професіоналізм, відповідальність, взаємоповага і толерантність, ефективність і продуктивність, лідерство та командна робота на підставі забезпечення прав та потреб людини (свобода думки та віросповідання, здоров'я та безпека, гідна робота, недискримінація, доступ до здорового довкілля, соціальна відповідальність та конфіденційність).

З 24 лютого 2022 р. вторгнення Російської Федерації в Україну призвело до безпрецедентної гуманітарної кризи, до кардинальних змін у функціонуванні українського суспільства. Унаслідок кризових процесів у країні, кадровий склад компанії суттєво змінився за рахунок нових працівників. Водночас за 2022—2023 рр. працівники в міжособистісних стосунках стали відноситися один до одного більш доброзичливо, допомагати вирішувати нагальні питання, підвищили рівень згуртованості та психологічної підтримки, що позитивно позначалося і на корпоративній культурі та професійній етиці компанії (рис. 2).

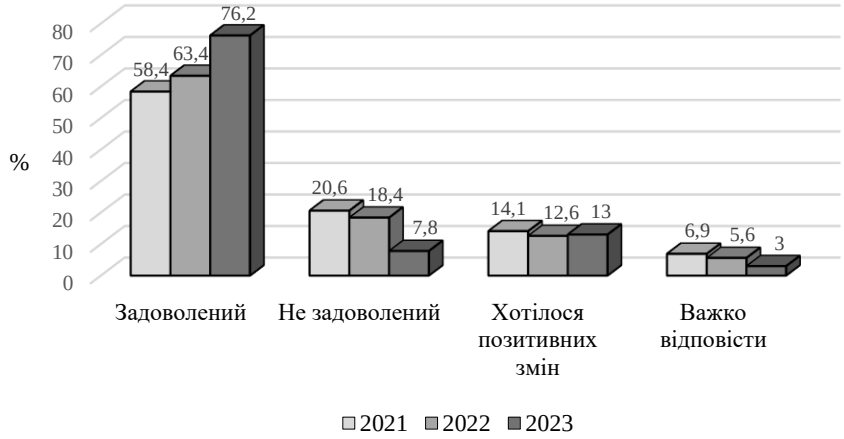


Рис. 2. Структура відповідей працівників щодо рівня задоволеності професійною етикою в дослідженій компанії у 2021—2023 роках (авторські дослідження)

Результати опитування щодо рівня задоволеності професійною етикою у 2022—2023 рр. свідчать, що питома частка працівників, які відповідають на питання анкети «задоволені» поступово збільшилася у 2022 р. — 63,4% , у 2023 р. —

76,2%. Водночас у 2022 р. питома частка працівників, які надали відповіді «незадоволені», «хотіли б позитивних змін у цьому питанні» і «важко відповісти» у підсумку склала 36,6%. А у 2023 р. — 23,8% за рахунок зниження частки працівників, що надали відповідь «незадоволені» і «важко відповісти». У 2023 р. питома частка працівників, які надавали відповідь «хотіли б позитивних змін у цьому питанні», зросла до 13%, що свідчить про помітну тенденцію до покращення професійної етики на підприємстві завдяки дотриманню Кодексу професійної етики і розвитку корпоративної культури компанії.

На нашу думку, для покращення питань професійної етики в компанії було б доцільно провести тренінги, які можуть підготувати для працівників менеджери персоналу. Це покаже співробітникам, що робота менеджерів персоналу вагома для компанії, але, крім позитивних сторін, ця робота має і складності — високий рівень стресу, багатозадачність, прийняття непопулярних рішень, емоційне вигорання, можливість конфлікту інтересів, постійні зміни в законодавстві, бюрократія.

Висновки

Підсумовуючи вищевикладене, вважаємо, що професійна етика допомагає менеджерам персоналу приймати збалансовані рішення, які сприяють розвитку співробітників і захищають інтереси компанії. Вона також зміцнює довіру між працівниками і керівництвом, покращує репутацію організації на ринку праці та знижує ризики правових або етичних конфліктів.

Основними аспектами розвитку професійної етики менеджерів персоналу в компаніях харчової промисловості стали:

- формування етичного кодексу, який базується на правилах поведінки, моральних цінностях та описує етичність зобов'язань менеджерів персоналу щодо підбору персоналу, справедливого оцінювання та розвитку кар'єри співробітників;
- навчання та підвищення обізнаності при проведенні регулярних тренінгів і семінарів з етики для всіх працівників компанії;
- підтримання прозорості та відкритості в прийнятті рішень, а також дотримання правил рівності та чесності в системі менеджменту персоналу;
- підтримання чесної і відкритої комунікації зі співробітниками та кандидатами на роботу;
- забезпечення конфіденційності особистих даних працівників і недопущення дискримінації чи упередженого ставлення;
- впровадження механізмів контролю за дотриманням етичних норм, таких як регулярний аудит і зворотний зв'язок від співробітників;
- заохочення працівників за дотримання етичних принципів справедливості, різноманітності та інклюзивності, інтеграція етичної поведінки в систему винагороди;
- удосконалення етичних норм як важливої частини корпоративної культури, що підвищує лояльність та мотивацію працівників.

Актуальним для розвитку професійної етики компаній харчової промисловості в системі менеджменту персоналу є подальше запровадження в діяльність Кодексу ділових партнерів, Антикорупційного кодексу, проведення креативних тренінгів і навчання експертами, використання технологій комплаєнсу для посилення зворотного зв'язку з етичних питань на принципі довіри між керівниками і працівниками.

Література

Дефіцит кадрів диктує умови. Рейтинг найкращих роботодавців України 2023. Взято з: https://focus.ua/uk/ratings/615922-deficit-kadriv-diktuye-umovi-reyting-naykrashchih-robotodavciv-ukrajini-2023.

Драган, О. І. (2024). *Удосконалення професійної етики в функціях HR-менеджменту компанії.* Horizons of Innovation: Conference on Multidisciplinary Trends in Science, 2, 133—137. Futurity Research Publishing. https://futurity-publishing.com/horizons-of-innovation-conference-on-multidisciplinary -trends-in-science-2024-2/.

Іващенко, М. В. (2021). Корпоративна культура та етика як чинник конкурентоспроможності в міжнародному бізнесі. *Економічна теорія та право*, 1(44), 70—73. Взято з: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vnyua_etp_2021_1_20.

Липчанський, В. О., Царенко, І. О., Пітел, Н. С. (2020). Етика бізнесу як різновид професійної етики в контексті соціальної відповідальності підприємців та управлінських кадрів. *Підприємництво та інновації*, 15, 52—58. https://doi.org/10.37320/2415-3583/15.9.

МХП: офіційний сайт. Взято з: https://mhp.com.ua/uk/Corporate-Ethics-and-Compliance-ua/kodeks-etyky-mkhp.

Орлова, К. Є., Бірюченко, С. Ю. (2022). Етика бізнесу як об'єкт наукового дослідження. *Економіка, управління та адміністрування*, 1(99), 76—82. https://doi.org/10.26642/ema-2022-1(99)-76-82.

Остапчук, Т. П., Бірюченко, С. Ю., Орлова, К. Є. (2023). Професійна етика в HR-менеджменті. *Економіка, управління та адміністрування*, 2, 51—57. DOI: https://doi.org/10.26642/jen-2023-2(104)-51-57.

Плотніченко, С. Р. (2016). Етика менеджера в діловому спілкуванні. *Збірник наукових праць Таврійського державного агротехнологічного університету (економічні науки)*, 1, 53—55. Взято з: http://nbuv.gov.ua/UJRN/znptdau_2016_1_11.

Чуловська, О. (2024). В Україні склали рейтинг найкращих роботодавців 2024 року. Взято з: https://happymonday.ua/rejtyng-najkrashhyh-robotodavtsiv-2024-v-ukrayini.

Branko, M., Cvijanović, D., Simonović, Z. (2015). Role of business ethics in management of human resources. *Ekonomika — januar-mart*, 61(1), 85—96. DOI:10.5937/ekonomika1501085M.

Coca-Cola: офіційний сайт. Взято з: https://ua.coca-colahellenic.com/content/dam/cch/ua/documents/about-us/кодекс-ділової-поведінки.pdf.downloadasset.pdf.

IDS Ukraine: офіційний сайт. Взято з: https://www.ids.ua/uk/company/ofitsijna-informatsiya/.

Khalaf, Ibrahim Al-Tarawneh (2020). Business ethics in human resources management practices and its impact on the organizational performance. *Business: Theory and Practice*, 21(1), 402—411. https://doi.org/10.3846/btp.2020.11344.

Mohylevska, O., Dragan, O., Pavlovskyi, S. & Melnyk, N. (2023). Socially responsible personnel management of food industry companies. *International Interdisciplinary Scientific Journal "Expert"*, 1(1) (October—November), 27—47. DOI 10.62034/2815-5300/2023-v1-i1-003.

Nestle: офіційний сайт. Взято з: https:// www.nestle.ua.

Zaim, H., Wisker, L., & Acikgoz, A. (2021). Modelling managers' and subordinates' ethical behaviour on performance. *International Journal of Business Governance and Ethics*, 15(2), 129—152. https://doi.org/10.1504/IJBGE.2021.113939.

УДК 502.131.1:338.43

EXPERIENCE OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF FOOD INDUSTRY ENTERPRISES

A. Rudova
National University of Food Technologies

Key words:
Sustainable development
Food industry
Social responsibility
Sustainable development practices
Competitiveness
Economic growth
Environmental sustainability

Article history:
Received 07.11.2024
Received in revised form 21.1.2024
Accepted 05.12.2024

Corresponding author:
A. Rudova
E-mail:
anastasiyarudova39@gmail.com

Citation: Онищенко Я. Д. (2024). Використання онтологій в управлінні безпечністю продуктів харчування. *Наукові праці НУХТ*, 30(6), 58—67.
DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-6-7

ABSTRACT

The experience of leading Ukrainian food companies, namely Coca-Cola Beverages Ukraine, Danone Ukraine, MHP, Astarta-Kyiv, and Kernel, in implementing sustainable development principles into their operations was analyzed. key areas in which companies contribute to sustainable economic growth, environmental protection, and social responsibility were examined. In particular, their initiatives aimed at environmental sustainability, the introduction of innovative production approaches, and efficient resource utilization leading companies towards a circular economy were analyzed. A significant aspect of sustainable development for these companies is the social component, with a strong focus on labour protection, personnel development, education, and the development of communities where the companies' production facilities are located.

Coca-Cola Beverages Ukraine pays particular attention to reducing plastic use and CO_2 emissions by implementing environmental initiatives. Danone Ukraine focuses on optimizing water resources and creating sustainable products, adhering to the principles of a circular economy. MHP is actively investing in bioenergy and agricultural innovations, contributing to reducing environmental impact. Astarta-Kyiv develops organic production and promotes social development through support for local communities and the implementation of environmentally friendly technologies. Kernel emphasizes biofuels and the modernization of agricultural processes to preserve natural resources.

It was determined that most of the companies' initiatives in the field of sustainable development were similar and indicated that businesses are paying attention to the urgent needs of humanity and environmental protection, which contributes to the creation of a sustainable business model that balances economic interests, environmental responsibility, and social well-being.

It is highlighted how companies combine economic, environmental, and social aspects of their activities, forming a comprehensive approach to sustainable development. The strategic integration of sustainable development contributes to increasing the competitiveness of enterprises and their adaptation to global challenges.

DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-6-7

ДОСВІД СТАЛОГО РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

А. Я. Рудова
Національний університет харчових технологій

У статті проаналізовано досвід провідних компаній харчової промисловості України — Coca-Cola Beverages Ukraine, Danone Ukraine, МХП, Астарта-Київ та Kernel щодо впровадження принципів сталого розвитку. Розглянуто основні напрями, в яких компанії сприяють сталому економічному зростанню, збереженню навколишнього середовища та соціальній відповідальності. Зокрема, проаналізовано їхні ініціативи, які сприяють екологічній стійкості, впровадженню інноваційних підходів до виробництва, ефективному використанню ресурсів, що приводить компанії до циркулярної економіки. Важливим напрямком сталого розвитку для наведених компаній є соціальна складова, за якою велику увагу приділяють охороні праці, розвитку власного персоналу, питанням освіти та розвитку громад, де розміщені виробничі потужності компаній.

Coca-Cola Beverages Ukraine приділяє особливу увагу скороченню використання пластику та зменшенню викидів CO_2, впроваджуючи екологічні ініціативи. Danone Ukraine зосереджується на оптимізації водних ресурсів і створенні стійких продуктів, зберігаючи принципи циркулярної економіки. МХП активно інвестує в біоенергетику та інновації в аграрному секторі, що сприяє зниженню впливу на довкілля. Астарта-Київ розвиває органічне виробництво та сприяє соціальному розвитку через підтримку місцевих громад і впровадження екологічно чистих технологій. Kernel робить акцент на біопаливі та модернізації аграрних процесів з метою збереження природних ресурсів.

Визначено, що більшість ініціатив компаній у сфері сталого розвитку схожа. Це свідчать про те, що бізнес звертає увагу на нагальні потреби людства і захисту довкілля, що сприяє створенню стійкої бізнес-моделі, яка підтримує баланс між економічними інтересами, екологічною відповідальністю та соціальним добробутом.

Висвітлено, як компанії поєднують економічні, екологічні та соціальні аспекти своєї діяльності, формуючи комплексний підхід до сталого розвитку. Стратегічна інтеграція сталого розвитку сприяє підвищенню конкурентоспроможності підприємств, а також їх адаптації до глобальних викликів.

Ключові слова: *сталий розвиток, харчова промисловість, соціальна відповідальність, практики сталого розвитку, конкурентоспроможність, економічне зростання, екологічна стійкість.*

Постановка проблеми. Сьогодні перед світом постало безліч викликів, пов'язаних зі зміною клімату, дефіцитом ресурсів і зростаючим очікуванням суспільства щодо етичної поведінки бізнесу. Харчова промисловості є однією з найважливіших галузей, яка відіграє значиму роль у забезпечення продовольчої безпеки, в той же час несе значну відповідальність за вплив на довкілля та соціальні процеси.

Сталий розвиток підприємств харчової промисловості є комплексним підходом, який передбачає поєднання економічних, соціальних та екологічних аспектів діяльності компанії. Якщо бізнес прагне досягти сталого розвитку, він має діяти не лише в рамках максимізації прибутку, а й бути відповідальним щодо своїх співробітників, споживачів, місцевих громад і навколишнього середовища. З огляду на викладене вище дослідження сталого розвитку підприємств харчової промисловості є актуальним для подальшого удосконалення напрямків діяльності на перспективу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика сталого розвитку та його інтеграція в діяльність підприємств є актуальним напрямом досліджень у сучасній економіці. Останніми роками багато науковців і практиків звертають увагу на важливість поєднання економічних, екологічних та соціальних аспектів у стратегіях компаній, що дає змогу досягти довгострокової стійкості бізнесу.

Значний внесок у розвиток концепції сталого розвитку зробили праці таких дослідників, як Дж. Елкінгтон (Elkington, 1998), автор концепції Triple Bottom Line (економічна, екологічна та соціальна відповідальність), а також М. Портер та М. Крамер (Porter, & Kramer, 2011), які акцентують увагу на створенні спільної цінності для бізнесу та суспільства. Вони підкреслюють, що сталий розвиток є важливою умовою для підвищення конкурентоспроможності та довготривалої ефективності компаній.

Вітчизняні дослідження з цього питання зосереджені на аналізі впливу сталого розвитку на українську економіку та суспільство. Так, у (Іванова, Швець, & Бардась, 2023) досліджено взаємозв'язок між соціальною відповідальністю та сталим розвитком. Важливою частиною дослідження є аналіз різних рівнів соціальної відповідальності, а також цілей і завдань КСВ у контексті сталого розвитку. Історію виникнення та сутність поняття сталого розвитку, його основні складові досліджено у (Карпенко, & Майзель, 2023). Особливу увагу автори приділяють збалансуванню екологічних, соціальних та економічних потреб бізнесу з урахуванням наявних обмежень. Більшість досліджень у сфері сталого розвитку зосереджені як на кожній складовій окремо, так і на їх сукупності, їхньому впливу на діяльність підприємства.

Концепція соціальної відповідальності має тісний взаємозв'язок зі сталим розвитком, оскільки передбачається, що бізнес повинен брати участь у вирішенні соціальних проблем і сприяти покращенню якості життя. Підприємства харчової промисловості мають виробляти не лише безпечні та якісні продукти харчування, а й забезпечувати справедливі та гідні умови праці, підтримку місцевих фермерів, мінімізувати відходи тощо.

Сталий розвиток підприємств ґрунтується на дотриманні трьох принципів, відповідно до яких підприємства харчової промисловості можуть здійснювати такі напрями їх забезпечення (Карпенко, & Майзель, 2023):

- економічна стійкість орієнтується на довгострокове економічне зростання з використанням ресурсів таким чином, щоб не допускати їх виснаження або деградацію. Передбачається етичне ведення бізнесу, інвестування в технології, які економлять ресурси, підтримка економічного зростання регіонів тощо;

- соціальна справедливість передбачає забезпечення рівного доступу до ресурсів, освіти, охорони здоров'я та можливостей для всіх членів суспільства, що включає в себе зниження соціальної нерівності, забезпечення інклюзії та гендерної рівності, забезпечення гідних умов праці, підтримку прав людини тощо;

- екологічна стійкість зосереджена на збереженні природних ресурсів, мінімізації негативного впливу на довкілля, перехід до відновлюваних джерел енергії, зменшення викидів парникових газів, раціональне використання води та мінімізацію відходів тощо.

Для України харчова промисловість відіграє вирішальну роль у формуванні національної економіки, вона охоплює широкий спектр виробничих процесів — від первинної переробки сільськогосподарської сировини до виготовлення кінцевих продуктів харчування, які задовольняють потреби внутрішнього та зовнішнього споживача.

Метою дослідження є ознайомлення з практиками сталого розвитку на прикладах підприємств харчової промисловості України, як вони інтегрують принципи сталого розвитку у свою діяльність і сприяють сталому економічному зростанню та збереженню навколишнього середовища.

Матеріали і методи. Матеріалами дослідження стали вітчизняні та зарубіжні дослідження з питань сталого розвитку, особливу увагу приділено сталому розвитку підприємств харчової промисловості України, інформацію про який взято з їх офіційних веб-сторінок. У процесі дослідження було використано такі загальнонаукові методи, як аналіз і синтез, індукція і дедукція, порівняння і метод логічного узагальнення для побудови таблиці практик сталого розвитку вітчизняних підприємств харчової промисловості.

Викладення основних матеріалів дослідження. Вітчизняні підприємства постачають продукції по всьому світу, особливо зернові та олійні культури, молочні вироби, цукор, напої тощо. За рахунок експорту харчових продуктів Україна отримує надходження валютних доходів, що зміцнює її позиції у світі. Окрім цього, харчова промисловість постійно розвивається, відбувається запровадження новітніх технологій для підвищення якості продукції та збільшення обсягів виробництва з меншим шкідливим впливом на довкілля. Інноваційність у переробці сировини, системі безпеки харчових продуктів, упаковки та зберігання готових продуктів дають змогу вітчизняним підприємствам відповідати міжнародним стандартам і вимогам.

Окрім цього, харчова промисловість є одним із найбільших роботодавців в Україні, забезпечує робочі місця для мільйонів українців, що, у свою чергу, сприяє покращенню рівню життя населення та зменшенню рівня безробіття. Харчова галузь забезпечує стабільні податкові надходження до бюджету країни, що використовують для розвитку інфраструктури, соціальних програм та інших напрямків для зміцнення економічної стабільності та забезпечення можливості для подальшого інвестування в трансформацію галузі.

Практики сталого розвитку та соціальна відповідальність підприємства тісно взаємопов'язані, оскільки обидві концепції орієнтовані на досягнення стійкого розвитку через відповідальне ведення бізнесу. Вони об'єднують економічні, соціальні та екологічні аспекти, спрямовані на довгострокову стабільність і сталий

розвиток суспільства. Безпосередньо до практик сталого розвитку відносять заходи та стратегії, спрямовані на задоволення потреб суспільства без шкоди для можливостей майбутніх поколінь задовольняти власні потреби.

Coca-Cola Beverages Ukraine (Coca-Cola HBC, 2024) є однією з компаній харчової промисловості, яка активно впроваджує принципи сталого розвиту у свою діяльність, орієнтуючись на збереження навколишнього середовища, раціональне використання ресурсів і соціальну відповідальність. Вода є основним компонентом продукції Coca-Cola, тому компанія дбає про її відповідальне використання. В Україні компанія впроваджує технології водозбереження, зменшення витрати води у виробництві та очищення стічних вод. Окрім цього, важливою частиною стратегії компанії є проєкти, спрямовані на захист водної екосистеми та забезпечення доступу громад до чистої питної води.

Також компанія Coca-Cola працює над зменшенням викидів парникових газів та підвищує свою енергоефективність. Компанія займається інвестуванням коштів в енергозберігаючі технології та переходить на використання відновлювальних джерел енергії. Завдяки такій оптимізації виробничих процесів компанія планує зменшити прямі викиди вуглецю на 30%, що зменшить негативний вплив на клімат.

Зараз для компанії одним із важливих напрямків сталого розвитку є зменшення використання первинного пластику та впровадження принципів циркулярної економіки — системи, яка спрямована на мінімізацію відходів та максимально ефективне використання ресурсів. Coca-Cola Beverages Ukraine (Coca-Cola HBC, 2024) активно працює над тим, щоб зробити своє пакування більше екологічним. У рамках програми «Світ без сміття» ставить собі за мету збирати та переробляти 100% свого пакування, отримувати 35% загального ПЕТ-пакування з переробленого ПЕТ-пакування або з відновлювальних матеріалів, а також збільшити збір упаковки продукції компанії.

Компанія інтегрує принципи сталого розвитку не лише через екологічні ініціативи, а й через соціальну відповідальність шляхом залучення інвестицій у розвиток місцевих громад, підтримки освітніх програм, гендерної рівності, благодійних проєктів, що сприяє економічному зростанню через створення нових робочих місць і підтримку соціальних ініціатив. Відповідно, завдяки цим ініціативам, компанія забезпечує стабільне економічне зростання та активно сприяє збереженню навколишнього середовища, що робить діяльність Coca-Cola Beverages Ukraine (Coca-Cola HBC, 2024) відповідальною перед суспільством і довкіллям.

Варто відмітити компанію Danone Ukraine, яка є прикладом того, як можна ефективно впроваджувати глобальні принципи сталого розвитку у свою діяльність через екологічні, соціальні та економічні ініціативи, що спрямовуються на зменшення негативного впливу на навколишнє середовище, підтримку громад і забезпечення стабільного зростання компанії. Основна ідея досягнення сталого розвитку компанії «Одна планета — одне здоров'я» (Danone, 2024) і більшість програм спрямовані на такі ініціативи, які дають змогу зробити процеси створення продуктів харчування більш якісними та здоровими.

Danone Ukraine (Danone, 2024) активно працює над модернізацією свого виробництва для зниження екологічного сліду через зменшення споживання енергії та ресурсів: впроваджує енергоефективні технології та використовує відновлювальні

джерела енергії, які знижують викиди парникових газів. Компанія зазначає, що займається відстежуванням свого карбонового сліду від виробництва молочної продукції, використовуючи інструмент Dairy Danprint, окрім цього, в компанії відстежують і карбоновий слід постачальників молока, використовуючи Cool Farm.

Як і для компанії Coca-Cola, так і для Danone вода є одним із критично важливих ресурсів, тому компанія активно використовує практики збереження води на підприємстві, зменшує її використання на виробництві і впроваджує сучасні системи очищення та повторного використання водних ресурсів. Важливим для компанії є зменшення використання пластику та створення більш екологічного пакування для продукції, що підтримує циркулярну економіку та зменшить кількість відходів, оскільки планується використання переробного пакування.

Важливою складовою сталого розвитку для компанії Danone Ukraine також є соціальна складова, яку вони реалізують за допомогою низки ініціатив. Серед цих ініціатив найбільше виділяють підтримку здоров'я та благополуччя населення країни. Компанія запустила проєкт «ПроЗдорове» (Danone, 2024) для популяризації здорового харчування, розробивши здорову тарілку харчування згідно з національними рекомендаціями зі здорового харчування населення. Також для компанії важливо інвестувати в освітні ініціативи та благодійній проєкти, що покращують якість життя місцевих громад.

Не забувають і про працівників, для яких існують ініціативи підтримки через забезпечення безпечних і здорових умов праці, рівні можливості та соціальні гарантії. Компанія приділяє значну увагу створенню безпечних умов праці шляхом впровадження сучасних стандартів охорони праці, залученням працівників до тренінгів з техніки безпеки, а також проводять ряд ініціатив з підтримки психічного та фізичного здоров'я співробітників.

Отже, Danone Ukraine активно працює над забезпеченням екологічної, соціальної та економічної стійкості, використовуючи сучасні рішення для зменшення свого впливу на навколишнє середовище, підтримку місцевих громад та працівників, що забезпечує стійке економічне зростання.

Миронівський Хлібопродукт (МХП) є одним з найбільших і найвпливовіших гравців на ринку харчової промисловості України. Як один із лідерів агропромислового холдингу, компанія МХП (МХП, 2024) здійснює значний вплив на довкілля, споживає великі обсяги ресурсів і взаємодіє з великою кількістю людей. Саме тому за сталим розвитком і соціальною відповідальністю компанії слідкують дуже прискіпливо.

Суспільство стає більш свідомим, коли йдеться про екологічні та соціальні проблеми, і очікує від великих компаній належних дій та ставлення щодо їх вирішення. Компанія МХП реагує на всі нагальні проблеми і впроваджує ряд ініціатив для їх вирішення. Так, компанія МХП заснувала благодійний фонд «МХП—Громаді» (МХП, 2024), важливими напрямками діяльності якого є підтримка освітніх і культурних ініціатив, соціальна допомога й екологічні проєкти.

Коли йдеться про екологічні ініціативи, варто зазначити, що в компанії використовують біогазові комплекси для виробництва відновлювальної енергії, що зменшить викиди вуглекислого газу та залежність від викопного палива. Окрім цього, в компанії дбають про ефективне використання водних ресурсів і мінімізують відходи, що призведе до скорочення екологічного сліду від їх діяльності.

Також у компанії дбають про стале сільське господарство за рахунок використання сучасних агротехнологій, завдяки яким МХП може підвищити продуктивність при одночасному збереженні ґрунтів та зниженні екологічних ризиків.

Як зазначає компанія МХП, покращення добробуту працівників призводить не тільки до створення робочих місць і дотримання соціальних гарантій, а також покращує умови життя в громадах. МХП приділяє значну увагу безпеці праці та здоров'ю працівників. Компанія впроваджує сучасні стандарти охорони праці (МХП, 2024) та забезпечує постійний контроль за дотриманням вимог безпеки на виробництві. Працівники регулярно проходять навчання з техніки безпеки, що знижує ризик травматизму і підвищує якість робочого середовища. Окрім цього, в компанії приділяють значну увагу навчанню та розвитку працівників, організовуються тренінги, курси та програми розвитку професійних компетенцій працівників.

Компанія МХП активно впроваджує практики та ініціативи сталого розвитку, спрямовані на забезпечення довгострокової стійкості бізнесу, підвищення його конкурентоспроможності та збереження навколишнього середовища.

Астарта-Київ (Астарта-Київ, 2024) також є одним з агропромислових холдингів України, що займає активну позицію у впровадженні принципів сталого розвитку до своєї діяльності. Стратегія компанії орієнтована не лише на досягнення економічної ефективності, а й на збереження природних ресурсів і покращення життя в регіонах своєї присутності. Компанія прагне зменшити свій вплив на навколишнє середовище, зокрема скоротити викиди парникових газів, оптимізувати використання водних ресурсів, сприяти збереженню біорізноманіття.

Одним із прикладів ініціатив є використання біоенергетичних технологій (Астарта-Київ, 2024), зокрема виробництво біогазу з відходів цукрових заводів та аграрного сектору. Ця ініціатива дає змогу не тільки зменшити кількість виробничих відходів, а й використовувати їх для відновлювальних джерел енергії. Компанія підтримує сталий розвиток аграрного сектору через впровадження інноваційних технологій у вирощуванні сільськогосподарських культур шляхом застосовування підходів точного землеробства, що дає змогу ефективніше використовувати землю та знижувати потребу в хімічних добривах і пестицидах. Такі ініціативи сприяють збереженню родючості ґрунтів і підвищенню ефективності агровиробництва.

Також для компанії є важлива і соціальна складова для досягнення сталого розвитку. В Астарта-Київ активно підтримують місцеві громади (Астарта-Київ, 2024), розвивають інфраструктуру, підтримують освітні проєкти, серед яких є стипендіальні програми для студентів аграрних навчальних закладів та спеціалізовані програми розвитку молодих спеціалістів.

Компанія реалізує програму для покращення доступу до медичних послуг у сільських громадах, допомагає у відновленні місцевих лікарень, проводить соціальні компанії, спрямовані на профілактику захворювань.

Окрім соціальних проєктів, Астарта-Київ також забезпечує своїх працівників справедливими умовами праці, гідною оплатою та соціальними гарантіями. Працівники мають доступ до програм професійного розвитку, можливості для навчання і кар'єрного зростання, що робить їхню роботу в компанії стабільною та перспективною. Компанія дотримується принципів рівності та інклюзивності (Астарта-Київ, 2024), забезпечуючи рівні можливості для всіх працівників незалежно від

статі, віку чи національності. Астарта-Київ працює над тим, щоб кожен працівник відчував себе важливим членом команди та мав можливість реалізовувати свій професійний потенціал.

Загалом, компанія демонструє високий рівень відповідальності перед своїми працівниками, створюючи безпечні, комфортні та сприятливі умови для їхнього професійного та особистого розвитку. Завдяки викладеним вище та іншим ініціативам компанія робить значний внесок у забезпечення сталого розвитку, демонструючи відповідальний підхід до бізнесу та турботу про добробут людей.

Kernel є провідним агропромисловим холдингом України (Kernel, 2024), який ставить на перше місце принципи сталого розвитку у всіх аспектах своєї діяльності. Як лідер у виробництві та експорті аграрної продукції, компанія постійно інвестує в інноваційні рішення, що забезпечують баланс між економічним зростанням, екологічною відповідальністю та соціальним добробутом. Компанія Kernel активно реалізує стратегії збереження природних ресурсів, підтримки місцевих громад і створення стійких умов для своїх працівників, що дає змогу компанії залишатися конкурентоспроможною та етичною на світовому ринку.

Kernel приділяє велику увагу збереженню природних ресурсів і мінімізації свого впливу на довкілля. Компанія впроваджує інноваційні технології, які сприяють скороченню викидів парникових газів і використанню альтернативних джерел енергії. Одним із прикладів є енергетичні проєкти. Як і Астарта-Київ, Kernel займається виробництвом біопалива (Kernel, 2024), що зменшує залежність від викопних палив і знижує екологічне навантаження.

Окрім цього, в компанії впроваджують принципи циркулярної економіки шляхом використання відходів сільськогосподарського виробництва для створення додаткової вартості. Відходи виробництва олії й зернових культур на підприємстві використовуються для виробництва біогазу та біодобрив, що призводять для зменшення обсягів відходів і сприяє раціональному використанню ресурсів.

Kernel приділяє увагу соціальному аспекту сталого розвитку, що відображається у підході до підтримки та розвитку своїх працівників. У компанії забезпечують високі стандарти охорони праці для всіх співробітників, також особливу увагу приділяють здоров'ю працівників. Kernel активно інвестує у професійний розвиток своїх співробітників (Kernel, 2024). Компанія пропонує різноманітні програми навчання та підвищення кваліфікації, що дає змогу працівникам постійно розвивати свої навички та підвищувати свою компетентність. Це включає як внутрішні тренінги, так і участь у зовнішніх програмах навчання та сертифікації, що підтримує розвиток талантів і кар'єрне зростання. Важливим для компанії також є створення нових робочих місць і забезпечення справедливої оплати праці.

Компанія бере активну участь у розвитку соціальної інфраструктури в регіонах ведення своєї діяльності, інвестує у місцеві громади, допомагає розвивати освітні, медичні та культурні ініціативи. Не менш важливим є ведення прозорості бізнесу, про що заявляє компанія. Компанія звітує про свої екологічні та соціальні досягнення, демонструючи прихильність до принципів сталого розвитку та дотримання глобальних стандартів відповідального бізнесу.

Kernel інтегрує принципи сталого розвитку на всіх рівнях своєї діяльності, сприяючи не лише економічному зростанню, але й захисту довкілля та соціальній

відповідальності перед працівниками і громадами. У табл. 1 узагальнено досвід компаній харчової промисловості України у використанні практик сталого розвитку.

Таблиця 1. **Практики сталого розвитку підприємств харчової промисловості України***

№ п/п	Практика / Компанії	Coca-Cola Beverages Ukraine	Danone Ukraine	МХП	Астарта-Київ	Kernel
1.	Зменшення виробничих викидів	+	+	+	+	+
2.	Збільшення частки відновлювальних джерел енергії	+	+	+	+	+
3.	Зменшення використання води	+	+	+	+	+
4.	Повторне використання пакування	+	+			
5.	Підтримка біорізноманіття		+	+	+	+
6.	Сприяння безпеці праці	+	+	+	+	+
7.	Забезпечення гендерної рівності та інклюзивності	+	+	+	+	+
8.	Підтримка добробуту працівників	+	+	+	+	+
9.	Підтримка освіти	+	+	+	+	+
10.	Підтримка молоді	+		+	+	+
11.	Ініціатива «0 відходів»	+	+	+	+	
12.	Програма покращення здоров'я					
13.	Підтримка військовослужбовців та ветеранів			+	+	+
14.	Донорство	+	+	+		
15.	Прозорість та звітність	+	+	+	+	+

Примітка. Складено автором на основі (Coca-Cola HBC, 2024; Danone, 2024; МХП, 2024; Астарта-Київ, 2024; Kernel, 2024).

*Використано інформацію з відкритого доступу.

Висновки

Узагальнюючи досвід провідних українських компаній, таких як Coca-Cola Beverages Ukraine, Danone Ukraine, МХП, Астарта-Київ та Kernel, можемо зробити висновок, що інтеграція принципів сталого розвитку є ключовим фактором довгострокової успішності та конкурентоспроможності цих компаній. Вони демонструють всебічний підхід до сталого розвитку, який охоплює збереження навколишнього середовища, соціальну відповідальність та економічне зростання. Така увага до сталого розвитку зміцнює репутацію компаній, підвищує їх привабливість для стейкхолдерів, а також допомагає адаптуватись до глобальних викликів, з якими зараз зустрічається світ.

Завдяки впровадженню інноваційних рішень і відповідальному підходу до використання всіх ресурсів, компанії формують нові стандарти соціальної відпові-

дальності, які не тільки здатні підтримати їх конкурентоспроможність, а й сприяють загальному розвитку економіки та суспільства. Сталий розвиток — це фундамент для довгострокової стратегії, який допомагає поєднати бізнес-цілі компанії, екологічну та соціальну відповідальність.

Література

Астарта-Київ (2024). Сталий розвиток. *Веб-сайт.* Взято з https://astartaholding.com/stalyj-rozvytok/.

Гребельник, О. (2023). Впровадження сталого розвитку у діяльності харчових підприємств. *The XXIV International Scientific and Practical Conference «Current scientific opinions on the development of current education»,* Milan, Italy, 305—306. Взято з https://rep.btsau.edu.ua/bitstream/BNAU/11898/1/vprovadzhennia_staloho_rozvytku.pdf.

Іванова, М. І., Швець, В. Я., Саннікова, С. Ф., Варяниченко, О. В., Бардась, А. В. (2023). Соціальна відповідальність як ключова компетенція забезпечення сталого розвитку підприємств. *БізнесІнформ*, 3, 176—186. doi: https://doi.org/10.32983/2222-4459-2023-3-176-186.

Карпенко, О., Майзель, С. (2023). Теоретичні аспекти забезпечення сталого розвитку підприємства. *Науковий журнал «Economic synergy»*, 1(7), 98—111. doi: https://doi.org/10.53920/ES-2023-1-8

МХП. (2024). Сталий розвиток. *Веб-сайт*. Взято з https://mhp.com.ua/uk/stalyy-rozvytok.

Панко, В. (2023). Аналіз екологічних цілей сталого розвитку та їх вимірність серед підприємств харчової галузі України. *Вчені записки Університету «КРОК»*, 4(72), 65—70. doi: 10.31732/2663-2209-2023-72-65-70.

Рудова, А. Я., Драган, О. І. (2024). Удосконалення піраміди корпоративної соціальної відповідальності підприємств харчової промисловості. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*, 30(1), 68—80. doi: 10.24263/2225-2924-2024-30-1-4.

Сталий розвиток харчового сектору: крок до кращого майбутнього. (2023). Job Point. Взято з http://surl.li/oydwcg.

Хахалєв, Д. О., Міняйло, Н. (2024). Інноваційні стратегії сталого розвитку підприємств в умовах мінливого ринку. *Всеукраїнський науковий журнал*, 4, 59—65. doi: https://doi.org/10.36887/2524-0455-2024-4-11.

Хомюк, Н. Л., Солтис, О. М. (2023). Харчова промисловість в Україні: тенденції та перспективи розвитку на засадах сталості та інклюзивності. *Сталий розвиток економіки*, 1(46), 141—148. doi: https://doi.org/10.32782/2308-1988/2023-46-20.

Coca-Cola HBC. (2024). Сталий розвиток. *Веб-сайт.* Взято з https://ua.coca-colahellenic.com/ua/a-more-sustainable-future.

Danone. (2024). Сталий розвиток. *Веб-сайт.* Взято з https://www.danone.ua/social/.

Elkington, J. (1998). Partnership from cannibals with forks: The triple bottom line of 21st-century business. *Environmental Quality Management*, 6, 37—51. Взято зhttps://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/tqem.3310080106.

Kernel. (2024). Сталий розвиток. *Веб-сайт.* Взято з https://www.kernel.ua/ua/sustainable-development/

Porter, M. E., Kramer, M. R. (2011). Creating shared value. *Harvard Business Review*. Взято з https://www.communitylivingbc.ca/wp-content/uploads/2018/05/Creating-Shared-Value.pdf.

Ruggerio, C. A. (2021). Sustainability and sustainable development: A review of principles and definitions. *Science of The Total Environment*, 786. doi: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147481.

УДК 658.8:005.332:664

HOLISTIC APPROACH TO MARKETING MANAGEMENT OF FOOD INDUSTRY ENTERPRISES IN THE CONTEXT OF VUCA

A. Berher
National University of Food Technologies

Key words:
VUCA conditions
Marketing management
Priority
Concept
Holistic approach
Risks
Enterprises
Food industry

Article history:
Received 01.11.2024
Received in revised form 15.11.2024
Accepted 28.11.2024

Corresponding author:
A. Berher
E-mail:
alinaberger2016@gmail.com

Citation: Бергер А. Д. (2024). Холістичний підхід до маркетингового менеджменту підприємств харчової промисловості в умовах VUCA. *Наукові праці НУХТ*, 30(6), 68—89.
DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-6-8

ABSTRACT

The theoretical aspects of applying a holistic approach to marketing management, which covers all trends in the development of food industry enterprises in the context of VUCA were analyzed. The general approaches to the enterprise management system in the context of VUCA include, in particular, emphasis on: strategic thinking, innovation, customer focus, human-centeredness. The scientific achievements in determining the priority aspects of the enterprise's activities for which marketing management is responsible were summarized: management functions, marketing strategies, coordination measures, viability testing, synergistic effect, etc. It was substantiated that in the context of VUCA, marketing management must adapt to new challenges and threats, constantly improve tools and methods of work, and apply progressive concepts to development. The factors of development of marketing management of the enterprise in VUCA conditions were proposed: adaptability and flexibility of marketing strategies, analytics and forecasting, strategic risk management, focus on training and development of personnel, etc. At the same time, these same factors were reflected in the modern concept of holistic approach, which allows enterprises to provide comprehensive and strategic approach to the market, effectively manage all aspects of marketing, and establish mutually beneficial relationships with customers. The main components of the holistic approach, which can significantly influence on the development of marketing management of the enterprise in the context of VUCA, were studied in the context of its structural elements: integrated marketing, relationship marketing, internal marketing, customer orientation, socially responsible marketing. The risks of food industry enterprises in the VUCA medium were generalized. The current directions of the holistic approach to marketing management at enterprises in the food industry were substantiated, which should be taken into account when forming marketing strategies, managing innovations, managing risks and aimed at optimizing and reducing production costs, preventing risks, and preserving public health.

DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-6-8

ХОЛІСТИЧНИЙ ПІДХІД ДО МАРКЕТИНГОВОГО МЕНЕДЖМЕНТУ ПІДПРИЄМСТВ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ В УМОВАХ VUCA

А. Д. Бергер
Національний університет харчових технологій

У статті досліджено теоретичні аспекти застосування холістичного підходу до маркетингового менеджменту, який охоплює всі тенденції розвитку підприємств харчової промисловості в умовах VUCA. Проаналізовані загальні підходи до системи менеджменту підприємства в умовах VUCA, зокрема стратегічне мислення, інновації, клієнтоорієнтованість, людиноцентрованість. Узагальнено наукові здобутки щодо визначення пріоритетних аспектів діяльності підприємства, за які відповідає маркетинговий менеджмент: функції управління, маркетингові стратегії, заходи координації, перевірка життєздатності, синергетичний ефект тощо. Обґрунтовано, що в умовах VUCA маркетинговий менеджмент повинен адаптуватися до нових викликів, загроз, постійно вдосконалювати інструменти та методи роботи, застосовувати прогресивні концепції розвитку. Запропоновані чинники розвитку маркетингового менеджменту підприємства в умовах VUCA: адаптивність і гнучкість маркетингових стратегій, аналітика та передбачення, стратегічне управління ризиками, фокус на навчання і розвиток персоналу тощо. Водночас ці ж чинники віддзеркалюються в сучасній концепції холістичного підходу, яка дає змогу підприємствам забезпечити комплексний і стратегічний підхід до ринку, ефективно управляти всіма аспектами маркетингу, налагоджувати взаємовигідні стосунки з клієнтами. Досліджено основні складові холістичного підходу, які можуть суттєво впливати на розвиток маркетингового менеджменту підприємства в умовах VUCA, у розрізі його структурних елементів: інтегрованого маркетингу, маркетингу взаємин, внутрішнього маркетингу. маркетингової орієнтації на клієнта, соціально-відповідального маркетингу. Узагальнено ризики підприємств харчової промисловості в умовах VUCA. Обґрунтовано актуальні напрямками холістичного підходу до маркетингового менеджменту на підприємствах в харчовій промисловості, які повинні враховуватися при формуванні маркетингових стратегій, управлінні інноваціями, управлінні ризиками і спрямовуватися на оптимізацію та скорочення витрат на виробництво продукції, запобігання ризикам, збереження здоров'я населення. Розглянуто поєднання холістичного підходу та маркетингового менеджменту в бізнесі агроіндустріального холдингу МХП з метою поширення його досвіду в інших компаніях харчової промисловості.

Ключові слова: *умови VUCA, маркетинговий менеджмент, пріоритетність, концепція, холістичний підхід, ризики, підприємства, харчова промисловість.*

Постановка проблеми. У сучасному світі управління підприємством в умовах VUCA (Volatility — мінливість, Uncertainty — невизначеність, Complexity — складність, Ambiguity — неоднозначність) є важливим викликом для керівників та стратегічному функціонуванню вітчизняних підприємств харчової промисловості, які працюють під час війни. Умови VUCA потребують від підприємств проактивного

підходу до управління, гнучкості, швидкого адаптування до змін і використання інноваційних підходів для досягнення конкурентних переваг. Створення сприятливих умов для розвитку талантів і увага до потреб клієнтів стають визначальними факторами успіху компаній у такому динамічному середовищі.

Водночас розвиток маркетингового менеджменту підприємств харчової промисловості в умовах VUCA також потребують гнучкості, інноваційності, постійної адаптації до змін та акценту на клієнтоорієнтованість і персоналізацію. Зокрема, ці ж критерії відображають сутність холістичного підходу до маркетингового менеджменту, який дає змогу підприємствам забезпечити комплексний і стратегічний підхід до ринку, ефективно управляти всіма аспектами маркетингу, налагоджувати взаємовигідні стосунки з клієнтами та партнерами, а також формувати сильний і конкурентоспроможний бренд. Поєднання використання цифрових технологій, стратегічного управління ризиками при холістичному підході до маркетингових стратегій дасть змогу підприємствам не лише вижити, але й досягати успіху в умовах постійної нестабільності. Отже, пріоритетність застосування холістичного підходу до маркетингового менеджменту охоплює всі тенденції і затребувані питання в розвитку підприємств харчової промисловості в умовах VUCA.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз останніх публікацій свідчить, що тема маркетингового менеджменту підприємств у поєднанні з холістичним підходом недостатньо розкрита в наукових дослідженнях. Науковці розглядають у своїх працях маркетинговий менеджмент і холістичний маркетинг як два окремі напрямки.

На думку (Раджаманнар, 2023), сучасна епоха вимагає, щоб керівники з маркетингу компаній безпрецедентно впливали на бізнес-результати в коротко- та довгостроковій перспективі. В умовах невизначеності здатність маркетингу управляти бізнес-результатами стає умовою виживання бізнесу. Успішними будуть лише ті компанії, які зможуть перевантажити свої місію, стратегії і підхід.

У статті (Aghazadeh, 2015) відмічається, що в епоху кардинальних змін компаніям потрібні стійкі конкурентні переваги на підставі стратегічного управління, зокрема з позиції маркетингового менеджменту. У монографії (Кошова, 2018) зазначається, що маркетинговий менеджмент — це інноваційний підхід до управління підприємством в умовах мінливості внутрішнього і зовнішнього середовища для досягнення поставлених структурованих цілей відповідно до стратегічної мети, яка відповідає етичним нормам, прийнятим у суспільстві, та сприяє досягненню оптимального рівня результативності з урахуванням економічних і соціальних ефектів.

Сучасні зарубіжні публікації охоплюють питання маркетингового менеджменту з позицій нових викликів і трендів — сталого розвитку, технологій цифровізації і використання соціальних мереж для пошуку споживачів тощо. Так, у статті (Olson E., Olson K., Czaplewski, & Key, 2021) зазначається, що менеджери з маркетингу повинні обов'язково враховувати інформацію про те, як компанії, які дотримуються різних стратегій, підходять до питань цифрового маркетингу, з кінцевою метою — допомогти менеджерам в ефективній та дієвій реалізації прийнятої стратегії їхньої фірми.

У (Ingenbleek, Meulenberg, Matthew, & Trijp, 2015) акцентовано увагу на включенні питань сталого розвитку в процес прийняття рішень споживачами, які ставлять перед менеджерами з маркетингу нові виклики, що вимагають розробити концептуальну основу для врахування споживачами соціальних питань під час прийняття рішень про купівлю, їх потенційних наслідків і граничних умов.

У праці (Sheth, 2021) сформульовано нові сфери дослідження удосконалення маркетингових стратегій, поведінки споживачів і маркетингової аналітики. У минулому методи шукали дані, у майбутньому дані шукатимуть методи, включаючи, наприклад, відеоаналітику. У статті (Ebrahim, 2020) проаналізовано використання платформи соціальних мереж, інтегрованої в маркетингову стратегію компанії, що встановлює нові механізми та інструменти комунікації, які потрібно враховувати при взаємодії з реальними та потенційними клієнтами.

Водночас науковці, які досліджували методологію до розвитку маркетингового менеджменту, наголошують на тих самих підходах в умовах зростання мінливості середовища, що й холістична концепція. Зокрема, холістичний підхід у маркетинговому менеджменті частково представлений через призму теорій Портера, Котлера, які допомагають бачити картину бізнесу в цілому і працювати з кожним її елементом, щоб створити синергію і максимізувати ефективність діяльності компанії.

Автором концепції холістичного маркетингу як інноваційного підходу до маркетингу компаній вважається Філіп Котлер. Специфікою холістичного маркетингу є те, що він більш цілісно, холістично розглядає соціальний простір, у якому перебувають споживачі, власники та співробітники компаній. Зокрема, використання холістичного маркетингу в практиці господарювання підприємств здатне принести їм додаткові конкурентні переваги, сприяти отриманню прибутків та істотно підвищити ефективність їхнього функціонування. Сучасні погляди на концепцію холістичного маркетингу полягають у тому, щоб розглядати продукт як частину більш широкого контексту, включаючи економічні, екологічні, соціальні, етичні та інші аспекти, а не лише як товар або послугу (Kotler, & Keller, 2016).

У праці (Kotler, Keller, & Chernev, 2021) дослідники розглядають концепцію холістичного маркетингу, яка ґрунтується на плануванні, розробленні та впровадженні маркетингових програм, процесів і заходів з урахуванням їхньої широти та взаємозалежності. Водночас це також складові маркетингового менеджменту підприємства, без яких не розпочинається маркетингова діяльність компанії на ринку.

У дослідженні (Портер, 2020) наголошується, що компанії, керівництво яких застосовує концепцію холістичного підходу, більш успішно створюють і розвивають системи споживацької цінності, внутрішні цінності, цінності постачальників, цінності суспільства в цілому для забезпечення їхньої конкурентоспроможності на ринку в межах галузі/сфери функціонування.

У статті (Супрунова, 2012) вважається, що «…відмінність холістичного маркетингу від традиційного полягає в тому, що холістичний маркетинг — це, по суті, перенесення акценту з послуги на споживача, а також з продажу послуг на задоволення споживчих потреб». У дослідженні (Семененко, Дунін, & Розумей, 2022) підсумовується, що холістична концепція маркетингу є сучасним багато-

гранним маркетинговим підходом, який при впровадженні у бізнес-процеси підприємств дає змогу останнім здійснювати моніторинг і контроль базових функцій із застосуванням принципів маркетингу, враховуючи їх комплексність і взаємний вплив як один на одного, так і на результати діяльності компанії у цілому.

У (Фісун, & Марчук, 2023) обґрунтовується, що холістичний маркетинг постійно розвивається і основним його компонентом є інтегрований маркетинг. Водночас під впливом цифровізації відбувається заміна деяких елементів комплексу інтегрованих маркетингових комунікацій на більш нові, більш технологічні.

З огляду на викладене вище вважаємо, що концепцію холістичного підходу до маркетингового менеджменту потрібно розглядати як один з актуальних наукових напрямків у сфері маркетингу сьогодення для підприємств, враховуючи умови нестабільності і непередбаченості.

Метою дослідження є розгляд холістичного підходу до маркетингового менеджменту, що пропонує теоретико-практичний погляд на їхнє комплексне поєднання в умовах VUCA, на прикладі підприємств харчової промисловості.

Матеріали і методи. В процесі дослідження було використано такі загальнонаукові методи, як аналіз, синтез, індукція і дедукція та узагальнення, для обґрунтування застосування холістичного підходу до маркетингового менеджменту підприємств харчової промисловості в умовах VUCA.

Викладення основних матеріалів дослідження. Узагальнення факторів адаптації системи менеджменту підприємства в умовах VUCA представлено в табл. 1.

Таблиця 1. **Аспекти системи менеджменту підприємства в умовах VUCA**

№ п/п	Основні аспекти	Структурні елементи
1.	Стратегічне мислення	*Глобальні тенденції* — постійний моніторинг ринкових змін, інновацій і політичних процесів. Керівники повинні враховувати глобальні події, що можуть вплинути на їхні організації; *аналіз ризиків* для передбачення можливих ризиків та їх наслідків для бізнесу і розробка різноманітних сценаріїв розвитку та побудова стратегій на випадок непередбачуваних подій; *коригування стратегії* з метою систематичної переоцінки та оновлення стратегічних планів, забезпечення їхньої актуальності та відповідності змінюваних умовам.
2.	Гнучкість і адаптивність	*Швидке реагування на зовнішні фактори*, які вносять зміни в стратегії та процеси підприємства; *делегування повноважень* від децентралізації управління та довіри до середнього рівня менеджерів з метою оперативності в прийнятті рішень; *адаптивність до нових умов* для використання гнучких методологій (Agile або Lean) щодо оптимізації процесів і реагування на зміни.
3.	Інновації	*Розвиток нових ідей* за умови заохочення інновацій серед працівників і створення сприятливих умов для їхньої генерації; *інвестування в технології*, зокрема впровадження новітніх технологій для автоматизації, покращення бізнес-процесів і задоволення потреб клієнтів; *стимулювання креативності* за рахунок організації хакатонів, інкубаційних програм та інших заходів для розвитку творчого мислення.

Продовження таблиці 1

4.	Управління ризиками	*Кризовий менеджмент* — розробка сценаріїв на випадок різноманітних криз (економічних, соціальних, технологічних, політичних тощо); *антикризові заходи* — впровадження чітко структурованого плану реагування на надзвичайні ситуації, здатність швидко переорієнтовувати ресурси; *захист від загроз* — оцінка та мінімізація ризиків за допомогою страхування, створення резервних фондів і забезпечення оперативної підтримки.
5.	Клієнтоорієнтованість бізнесу	*Зворотний зв'язок* за рахунок регулярного збору й аналізу відгуків від клієнтів для вдосконалення продуктів і послуг; *персоналізація продуктів та послуг* як відповідність продукції чи послуг індивідуальним потребам кожного клієнта; *підтримка відносин із клієнтами* на підставі будування довгострокових партнерських відносин з клієнтами через персоналізований підхід та високу якість обслуговування.
6.	Людиноцентрованість	*Розвиток працівників* за рахунок інвестування у професійне навчання, підвищення кваліфікації та залучення, підтримка талантів; *гнучкі умови праці* для застосування гнучких робочих графіків, можливостей дистанційної роботи та інших зручностей для покращення балансу між роботою та особистим життям; *забезпечення добробуту* для підтримки фізичного та ментального здоров'я працівників через програми благополуччя, медичне страхування, доступ до консультацій і тренінгів.

Примітка. Узагальнено автором на основі (Савчук, 2024).

У (Раджаманнар, 2023) зазначається, що загалом топ-менеджери не бачать цінності маркетингу або його здатності робити внесок у бізнес, і кількість представників у раді директорів дедалі скорочується. Це свідчить про зниження інтересу до маркетингового менеджменту з боку практиків і нагальність застосування сучасних підходів до його розвитку. Отже, потрібно дослідити, за які пріоритетні аспекти діяльності підприємства відповідає маркетинговий менеджмент, зважаючи на його сутність (табл. 2).

Таблиця 2. **Підходи до визначення дефініції «маркетинговий менеджмент»**

Автор	Маркетинговий менеджмент — це	Пріоритет
Балабанова, 2000	Цілісна, науково обґрунтована система організації, формування та управління підприємством у сучасних умовах, яка здатна створити умови для задоволення потреб і попиту на ринку, гнучко та адекватно реагувати на зміни у зовнішньому та внутрішньому ринковому середовищі, підвищувати прибутковість виробництва та діяльності підприємства загалом.	*Система організації, формування та управління підприємством.*
Багорка, & Пилипенко, 2017	Комплексна система управління підприємством на основі маркетингу являє собою складну систему елементів (структурний аспект) і дій (функціональний аспект), за допомогою яких забезпечується збалансованість системи управління та її загальної ефективності.	*Система елементів (структурний аспект) і дій (функціональний аспект)*

Продовження таблиці 2

Голуб, 2013	Системна сукупність трьох складових: процесу управління, організації управління та інформації. Процес управління маркетинговою діяльністю.	*Система, процес управління*
Друкер, 2020	Концепція політики змін управління фірмою, яка перевіряє на життєздатність кожен товар, послугу, процес, ринок, канал поширення, кожного споживача та форму кінцевого використання.	*Перевірка життєздатності.*
Калмикова, 2024	Інтеграція маркетингу і менеджменту, де маркетинг виступає інструментом реалізації стратегії менеджменту, а менеджмент є базою для того, щоб застосовувати цей інструмент, створює умови для функціонування підприємства на підставі доповнення двох складових. Комплекс заходів, який спрямований на результативне здійснення конкурентної поведінки організації на ринку і досягнення її цілей: забезпечення сталого успіху у споживачів товарів, робіт і послуг організації.	*Інтеграція маркетингу і менеджменту.*
Ковшова, 2018	Інноваційний підхід до управління підприємством в умовах мінливості внутрішнього і зовнішнього середовища для досягнення поставлених структурованих цілей відповідно до стратегічної мети, яка відповідає етичним нормам, прийнятим у суспільстві та дозволяє досягти оптимального рівня результативності з врахуванням економічних та соціальних ефектів.	*Умови інноваційності, мінливості, обмеження.*
Kotler, Keller, & Chernev, 2021	Мистецтво і наука про вибір цільових ринків і отримання, зберігання і залучення клієнтів шляхом створення, доставки і передачі чудової цінності для клієнтів; процес планування і реалізації концепцій ціноутворення, просування й розподілу ідей, товарів і послуг, спрямований на здійснення обмінів, які задовольняють як індивідуальні, та і організаційні цілі.	*Науковість, клієнтоорієнтованість.*
Мандич, 2019	Система управління ринкової діяльністю підприємства, яка поєднує базові векторні напрями: діяльність підприємства та формування належного потенціалу для можливості виходу на ринок; роботу з ринком в умовах постійного розвитку конкурентних відносин для отримання стійких ринкових позицій при налагодженні взаємодії із всіма контрагентами; маркетинговий аудит чи провадження управлінської функції контролю результативності діяльності підприємства на обраному об'єктовому ринку для забезпечення утримання наявних позицій чи формування кращих конкурентних переваг.	*Система управління ринковою діяльністю підприємства.*
(Ткач, Баланюк, Копчак, & Баланюк, 2020)	Передбачає застосування всіх засобів маркетингу, спрямованих на завоювання цільового сегменту ринку, що забезпечує синергічний ефект — своєчасне задоволення споживачів необхідними товарами, а організації — прибутками.	*Синергічний ефект.*

Продовження таблиці 2

Яроміч, Бекетова, & Брєєва, 2022	Передбачає ключову реорганізацію наявної системи управління, перегляд внутрішніх взаємовідносин між функціональними підрозділами та забезпечення певної взаємодії між ними. При цьому потрібно враховувати, що мозковим центром, який на основі маркетингових досліджень має координувати діяльність усіх функціональних підрозділів організації і розробляти рекомендації щодо визначення її стратегії і тактики, повинна стати служба маркетингу.	*Реорганізація системи.*
Авторське визначення	Система менеджменту в умовах VUCA, яка націлена на маркетинг з спрямованістю на стратегічне мислення, гнучкість, адаптивність, інноваційність, управління ризиками, клієнтоорієнтованість і людиноцентричність.	*Інноваційність, людиноцентричність, умови VUCA.*

Примітка. Узагальнено автором.

Кожне визначення маркетингового менеджменту акцентує увагу на багатогранності наукових думок і доповнює теоретичні підходи дослідження.

За класичною схемою алгоритм маркетингового менеджменту підприємства здійснюється за такими етапами (Балабанова, 2000; Kotler, Keller, & Chernev, 2021): маркетинговий аналіз (аналіз маркетингового середовища і ринкових можливостей); сегментування ринку; позиціювання товару; маркетинговий синтез (визначення мети); стратегічний маркетинг (розробка маркетингових стратегій); операційний маркетинг: комплекс маркетингового менеджменту; інтеграція маркетингового комплексу в стратегічний план; маркетинговий контроль; маркетинговий аудит. Маркетинговий менеджмент повинен адаптуватися до нових викликів в умовах VUCA і постійно вдосконалювати інструменти та методи роботи (табл. 3).

Таблиця 3. **Чинники розвитку маркетингового менеджменту підприємства в умовах VUCA**

№ п/п	Чинники	Структурні елементи
1.	Адаптивність і гнучкість маркетингових стратегій.	*Оперативне реагування на зміни:* підприємства повинні швидко змінювати маркетингові стратегії залежно від ринкових умов, змін у поведінці споживачів, економічних та соціальних факторів. *Гнучкі маркетингові кампанії:* використання гнучких підходів, таких як Agile-маркетинг, дає змогу швидко коригувати маркетингові кампанії відповідно до зовнішніх змін. *Адаптація до локальних ринків:* глобальні бренди повинні адаптувати свої продукти та послуги до локальних ринків, враховуючи культурні та економічні особливості.
2.	Аналітика та передбачення	*Дані як основа для прийняття рішень:* уміння працювати з великими даними (Big Data), маркетинговою аналітикою та штучним інтелектом дозволяє аналізувати поведінку споживачів і передбачати зміни на ринку. *Оцінка ризиків:* маркетингові стратегії повинні включати аналіз потенційних ризиків і можливостей, що допоможе мінімізувати негативний вплив невизначеності та непередбачуваних ситуацій; *Моніторинг ринку в реальному часі:* системи моніторингу та аналізу дають змогу відстежувати тренди та поведінку конкурентів у реальному часі.

Продовження таблиці 3

3.	Інновації та цифрові технології	*Цифрова трансформація:* впровадження цифрових інструментів та технологій у маркетингові процеси дозволяє ефективніше працювати в умовах мінливості. Це може включати автоматизацію маркетингу, використання CRM-систем, Big Data, штучного інтелекту та чат-ботів. *Інноваційні продукти:* розвиток та впровадження нових продуктів і послуг, які відповідають потребам споживачів і трендам на ринку. *Маркетинг через соціальні медіа та інфлюенсерів:* У VUCA середовищі важливу роль відіграє соціальний маркетинг і комунікація через впливових осіб (інфлюенсерів), що допомагає підвищити довіру до бренду та збільшити охоплення аудиторії.
4.	Клієнтоорієнтованість і персоналізація	*Персоналізований підхід до споживача:* в умовах невизначеності та мінливості важливо зрозуміти індивідуальні потреби кожного клієнта та пропонувати персоналізовані рішення, що відповідають їхнім потребам. *Емоційний маркетинг:* компанії повинні фокусуватися на створенні емоційного зв'язку зі споживачами, оскільки в періоди невизначеності клієнти надають перевагу брендам, яким довіряють. *Омніканальний маркетинг:* забезпечення доступності продуктів і послуг через різні канали комунікації (онлайн, офлайн) та підвищення інтеграції між ними для забезпечення плавного клієнтського досвіду.
5.	Стратегічне управління ризиками	*Проактивний підхід до управління ризиками:* потрібно заздалегідь передбачати можливі виклики на ринку та розробляти стратегії для їх подолання. Це дозволяє уникнути або мінімізувати негативні наслідки від зовнішніх факторів. *Кризовий маркетинг:* в умовах непередбачуваних ситуацій необхідно розробляти антикризові маркетингові плани, що допоможуть зберегти лояльність клієнтів і репутацію компанії.
6.	Фокус на навчання і розвиток персоналу	*Підвищення кваліфікації маркетологів:* в умовах VUCA маркетингові фахівці повинні постійно розвиватися та вивчати нові технології й інструменти. Навчання, тренінги та підвищення кваліфікації стають ключовими для успіху. *Лідерство та командна робота:* створення команд, здатних до швидкої адаптації і прийняття рішень у мінливих умовах. Лідери повинні вміти надихати своїх підлеглих і забезпечувати координацію дій.

Примітка. Узагальнено автором на основі (Кошова, 2018; Пачева, & Подзігун, 2022; Поліщук, & Вітченко, 2021; Яроміч, Бекетова, & Брєєва, 2022).

Маркетинговий менеджмент підприємств харчової промисловості охоплює практично всі аспекти їхньої виробничо-комерційної діяльності. Серед складових маркетингового менеджменту слід відзначити:

І. Дослідження, планування, реалізація та контроль у сфері маркетингової діяльності, яке включає аналіз ринку, поведінки споживачів, конкурентів і галузевих тенденцій. Планування маркетингових заходів і контроль їхньої реалізації допомагає адаптуватися до змін на ринку.

ІІ. Запровадження інструментарію стратегічного менеджменту для досягнення довгострокових цілей підприємства на підставі стратегічного планування, яке базується на аналізі ринку, сильних і слабких сторін підприємства, а також зовнішніх факторів впливу.

III. Управління ринковим позиціонуванням, яке визначає місце підприємства на ринку. Це включає визначення унікальної пропозиції цінності, яка допоможе привабити й утримати клієнтів, сформувати маркетингові стратегії для всього асортиментного портфеля підприємств.

IV. Управління ризиками, яке дає змогу підприємствам знижувати ймовірність негативних наслідків і захищати свої інтереси через страхування, диверсифікацію продукції або створення стабільних договірних відносин.

V. Управління соціально-економічною безпекою, яке охоплює соціальні, економічні заходи щодо фінансової стабільності підприємства, збереження рентабельності, оптимізації усіх ресурсів, інвестування в нові технології та інфраструктуру для забезпечення довгострокового розвитку.

Враховуючи умови VUCA, харчові підприємства стикаються з численними ризиками, які можуть вплинути на їхню діяльність, стабільність і безпеку продукції. Водночас більшість підприємств-лідерів харчової промисловості працюють на принципах корпоративної соціальної відповідальності, яка базується на інтеграції трьох складових: економічної, соціальної та екологічної. Таким підприємствам для успішного функціонування недостатнє застосування маркетингового менеджменту на традиційних підходах. Зокрема, прогресивною у колаборації з КСВ є система на концепції холістичного підходу, яка охоплює всі взаємодіючі підсистеми, процеси, спільні позиції з клієнтами, тому пропонується зосередитися на розвитку маркетингового менеджменту підприємств харчової промисловості в умовах VUCA на підставі концепції холістичного підходу.

Холістичний підхід до маркетингового менеджменту означає комплексне й інтегроване управління всіма аспектами маркетингової діяльності підприємства, спрямоване на досягнення єдиної стратегічної мети. Такий підхід ґрунтується на визнанні взаємозалежності всіх елементів маркетингу і взаємозв'язку між зовнішніми і внутрішніми процесами в компанії.

Більшість науковців визначають «холістичний маркетинг» як спрямований на забезпечення узгодженості між всіма складовими бізнесу — від розробки продукту і брендингу до взаємодії з клієнтами та партнерами. Водночас в умовах нестабільності цього недостатньо, потрібно розпочинати з адаптування організаційної структури маркетингу, розроблення маркетингової стратегії компанії, враховуючи управління ризиками тощо.

Основні складові холістичного підходу, які повинні впливати на розвиток маркетингового менеджменту, узагальнено в табл. 4.

Схему поєднання холістичного підходу і маркетингового менеджменту підприємств харчової промисловості в умовах VUCA наведено на рис. 1.

Переваги застосування холістичного підходу до маркетингового менеджменту підприємства:

1. *Єдність і узгодженість дій усіх структурних підрозділів на підставі функцій менеджменту:* стратегічна координація всіх елементів маркетингової діяльності підвищує ефективність та знижує ризики неузгоджених або конфліктних дій керівництва підприємства.

2. *Підвищення лояльності та залученості споживачів:* на підставі зворотного зв'язку більш чітке розуміння клієнтів та довгострокова орієнтація на їхні потреби і запити для формування партнерських відносини.

3. *Ефективне використання ресурсів:* на підставі інтегрованого маркетингу ефективніше розподіляються ресурси, що сприяє збільшенню комерційних результатів з мінімальними витратами.

Таблиця 4. **Основні складові холістичного підходу, які повинні впливати на розвиток маркетингового менеджменту підприємства**

№ п/п	Основні аспекти	Структурні елементи
1.	Інтегрований маркетинг	*Координація маркетингових інструментів:* холістичний маркетинг передбачає інтеграцію всіх маркетингових інструментів і каналів комунікації (реклама, PR, цифровий маркетинг, соціальні мережі, прямі продажі) для досягнення єдиної стратегії. Важливо забезпечити узгодженість повідомлень і досвіду клієнта на всіх етапах взаємодії з брендом. *Синергія різних маркетингових дій:* комплексний підхід дає змогу створити ефект синергії, коли різні елементи маркетингової стратегії підсилюють один одного, підвищуючи загальну ефективність компаній.
2.	Маркетинг взаємин	*Фокус на довгострокових відносинах:* холістичний маркетинг акцентує увагу на побудові довготривалих і взаємовигідних відносин з клієнтами, партнерами, постачальниками та іншими зацікавленими сторонами. *Лояльність і задоволення клієнтів:* стратегічне управління взаємовідносинами дає змогу не лише залучити клієнтів, але й підтримувати їхню лояльність у довгостроковій перспективі через високий рівень обслуговування, якісні продукти та індивідуальний підхід.
3.	Внутрішній маркетинг	*Залученість персоналу:* холістичний підхід вимагає залучення всіх працівників компанії до процесу створення цінності для клієнтів. Персонал повинен розуміти і підтримувати маркетингові цілі компанії, а також активно брати участь у їх реалізації. *Координація всередині компанії:* комунікація та співпраця між різними підрозділами (продажі, обслуговування, логістика, розробка продуктів) є важливими для забезпечення єдності у досягненні стратегічних маркетингових цілей.
4.	Соціально відповідальний маркетинг	*Урахування інтересів суспільства:* холістичний маркетинг включає елементи соціальної відповідальності, що передбачає врахування впливу маркетингової діяльності на суспільство, довкілля та економіку. *Сталий розвиток:* підприємства повинні дотримуватися етичних стандартів та ініціатив сталого розвитку, які спрямовані на задоволення потреб сучасних споживачів без шкоди для майбутніх поколінь. Це може включати екологічні ініціативи, соціальні проекти та прозорі бізнес-практики.
5.	Маркетингова орієнтація на клієнта	*Глибинне розуміння потреб клієнтів:* у центрі холістичного маркетингу стоїть клієнт і його потреби. Створення цінності для споживачів є ключовим елементом успіху будь-якої маркетингової стратегії. *Персоналізовані рішення:* врахування індивідуальних запитів клієнтів та адаптація продуктів і сервісів під їхні потреби сприяє підвищенню задоволення клієнтів та їхньої лояльності до бренду.

Продовження таблиці 4

6.	Аналітика та управління даними	*Маркетингові дослідження та аналітика:* холістичний підхід потребує постійного аналізу ринку, конкурентного середовища, а також збору зворотного зв'язку від клієнтів. Аналітичні дані забезпечують прийняття обґрунтованих рішень і коригування маркетингових стратегій. *Використання великих даних (Big Data):* завдяки технологіям маркетингової аналітики та аналізу великих даних, компанії можуть точно прогнозувати поведінку споживачів, коригувати маркетингові кампанії та створювати персоналізовані пропозиції.

Примітка. Узагальнено автором на основі (Kotler, Keller, & Chernev, 2021; Семененко, Дунін, & Розумей, 2022; Фісун, & Марчук, 2023; Холістичний, 2021).

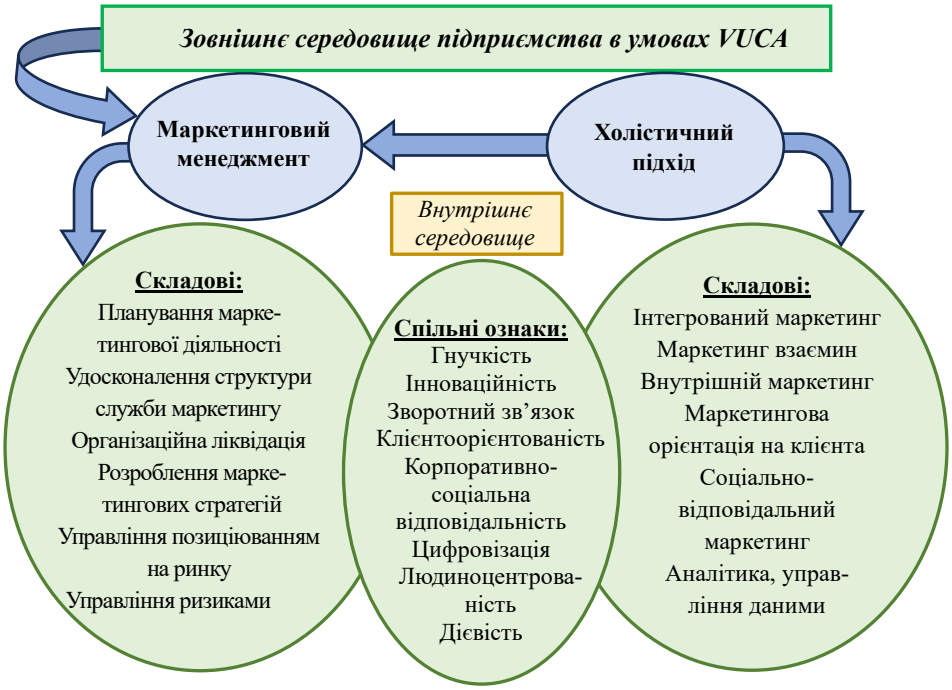


Рис. 1. Взаємозв'язок холістичного підходу і маркетингового менеджменту підприємств харчової промисловості (розроблено автором)

Результати опитування працівників підприємств харчової промисловості щодо визначення основних ризиків в умовах VUCA представлено на рис. 2.

Розглянемо детально ризики в умовах VUCA для підприємств харчової промисловості, зокрема:

1. Ризики безпеки постачання та логістики:

- *порушення ланцюгів постачання.* Воєнні дії можуть ускладнити доставку сировини, матеріалів і готової продукції. Пошкодження інфраструктури, закриття доріг, зони активних бойових дій призводять до дефіциту сировини або готових продуктів;

- *збільшення транспортних витрат.* Війна може спричинити підвищення вартості пального, необхідність використовувати більш довгі маршрути або орендувати альтернативні засоби транспорту;

- *зниження доступу до зовнішніх ринків.* Через політичні санкції або закриття кордонів експорт та імпорт можуть бути ускладнені або зовсім припинені.

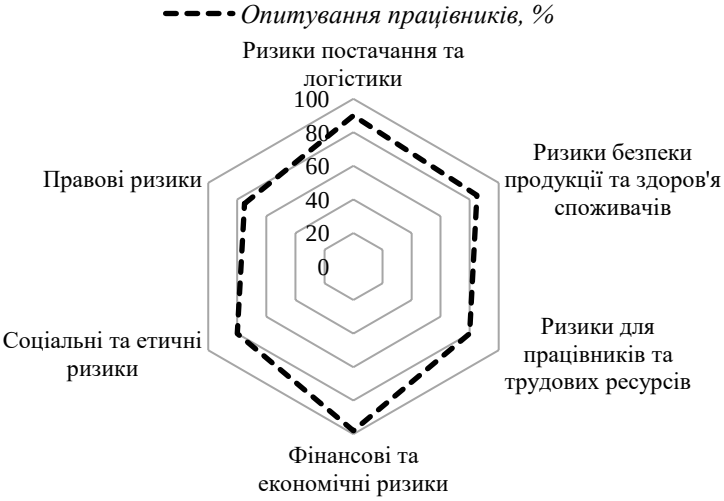


Рис. 2. Основні ризики в умовах VUCA для підприємств харчової промисловості, % (*авторські дослідження*)

2. Ризики безпеки продукції та здоров'я споживачів:

- *переривання у процесах контролю якості.* Воєнні умови можуть впливати на регулярність і ефективність систем контролю якості продукції. Збій в роботі лабораторій, відсутність належного обладнання чи кваліфікованих працівників загрожує якості продукції;

- *контамінація продукції.* В умовах воєнних дій існує ризик забруднення продуктів токсичними речовинами (хімічні або біологічні) через пошкодження виробничих потужностей, складів або транспортування;

- *переривання у постачанні енергії та води.* Без електрики та води харчові підприємства не можуть забезпечити належний рівень гігієни, що підвищує ризик появи бактерій і патогенів.

3. Ризики для працівників та трудових ресурсів:

- *загроза безпеці працівників.* В умовах війни працівники можуть бути поранені або евакуйовані, що призводить до браку робочої сили або необхідності призупинити виробничі процеси;

- *психологічний тиск і стрес.* Постійний стрес, викликаний воєнними діями, може впливати на продуктивність та ефективність працівників, а також призводити до емоційного вигорання;

- *мобілізація.* Частина працівників може бути мобілізована до армії, що зменшує кількість кваліфікованих кадрів на підприємстві.

4. Фінансові та економічні ризики:

- *зменшення платоспроможності споживачів.* Під час війни споживчі витрати можуть скоротитися через зниження рівня доходів та підвищення цін на продукти.

- *підвищення вартості виробництва.* Порушення в постачанні сировини та енергетичних ресурсів можуть призвести до значного підвищення собівартості продукції, що ускладнює конкурентоспроможність на ринку;

- *зміна податкового законодавства або введення надзвичайних зборів* для фінансування оборони може додатково обтяжити бізнес.

5. Соціальні та етичні ризики:

- *втрати довіри споживачів.* Будь-які порушення в якості або безпеці продукції можуть негативно вплинути на репутацію підприємства, особливо якщо виникають проблеми зі здоров'ям у споживачів;

- *потреба в гуманітарній допомозі.* Харчові підприємства можуть зобов'язатися надавати гуманітарну допомогу, що створює додаткове навантаження на їхні ресурси.

Правові ризики:

- *невідповідність умовам безпеки праці.* Військові дії можуть ускладнити виконання вимог законодавства щодо охорони праці, що може призвести до юридичних санкцій;

- *порушення контрактних зобов'язань.* Війна може вплинути на здатність виконувати контракти, що може спричинити юридичні конфлікти або фінансові втрати.

Для мінімізації цих ризиків підприємства мають адаптувати свої маркетингові стратегії, посилювати заходи безпеки, шукати нові канали постачання та підтримувати тісний зв'язок з працівниками і споживачами. Саме за цими критеріями для підприємств харчової промисловості актуальним буде холістичний підхід до маркетингового менеджменту.

Пріоритетними напрямками холістичного підходу до маркетингового менеджменту на підприємствах в харчової промисловості, які повинні враховуватися про формуванні маркетингових стратегій, управлінні інноваціями, управлінні ризиками — оптимізація та скорочення витрат на виробництво продукції, попередження ризиків, збереження здоров'я населення:

Виробництво органічної продукції. Компанії, які вирощують і продають органічні продукти, акцентують увагу на екологічно чистому виробництві, відсутності шкідливих хімічних добрив та пестицидів. Вони часто надають інформацію про свої практики стосовно збереження навколишнього середовища та підтримки сталого сільського господарства.

Безвідхідні технології та утилізація відходів. Компанії, які активно впроваджують безвідхідні технології (або Zero Waste Technologies) та займаються утилізацією відходів, відзначаються своєю відповідальністю перед навколишнім середовищем та споживачами. Вони можуть використовувати власні відходи для виробництва біогазу, компосту, нові види продукції з вторинної сировини, а також мінімізувати використання упаковки та інших надмірних матеріалів.

Основні підходи безвідхідних технологій на підприємствах харчової промисловості включають:

- *комплексна переробка сировини.* Метою є максимальне використання кожної частини продукту. Наприклад, відходи овочів, фруктів або зернових можуть використовуватися для виготовлення кормів для тварин, біопалива або навіть нових харчових продуктів (харчові добавки, натуральні барвники, пектини тощо);

- *біотехнології* дають змогу перетворювати відходи на нові продукти. Наприклад, ферментація може використовуватися для отримання спиртів, кислот, кормів для тварин або харчових добавок;

- *енергозберігаючі технології* включають використання енергоефективного обладнання, яке скорочує витрати електроенергії та знижує викиди CO_2. Також застосовуються методи утилізації тепла, яке виділяється під час виробничих процесів;

- *повторне використання води* в різних етапах виробництва, зменшуючи її споживання. У харчовій промисловості велика кількість води використовується для миття, охолодження та інших процесів;

- *переробка та компостування харчових відходів* у добрива або біогаз, що сприяє зменшенню сміття, яке вивозять на звалища, і дає змогу отримувати додаткові продукти, такі як органічні добрива або енергію;

- *біорозкладна та багаторазова упаковка*, що легко розкладається в природі або підлягає переробці, також знижує кількість сміття та забруднення довкілля.

Технології здорового способу життя (ЗСЖ) у харчовій промисловості спрямовані на створення продуктів, які сприяють підтримці здоров'я, профілактиці захворювань і задоволенню потреб споживачів, що прагнуть дотримуватись здорового раціону. Виробники впроваджують інноваційні підходи й технології для того, щоб зробити продукти кориснішими, натуральнішими та безпечнішими:

- *функціональні продукти* з доданою користю для здоров'я, наприклад, продукти, збагачені вітамінами, мінералами, пробіотиками або іншими корисними речовинами. Це можуть бути йогурти з пробіотиками, хліб, збагачений вітамінами та клітковиною, або соки з додаванням антиоксидантів;

- *безглютенові, безлактозні та гіпоалергенні продукти,* як замінники традиційних інгредієнтів, таких як безглютенові зернові культури (кукурудза, гречка, рис), або рослинні альтернативи молочних продуктів (кокосове, мигдалеве молоко). Зростання кількості людей з харчовими алергіями та непереносимістю певних компонентів (глютену, лактози тощо) стимулювало розвиток технологій створення спеціальних продуктів;

- *рослинні аналоги м'яса та молочних продуктів* на підставі поширення вегетаріанських і веганських дієт для різних вікових груп населення. Такі продукти виготовляються з сої, гороху, нуту та інших рослинних інгредієнтів, зберігаючи смакові характеристики м'яса або молока;

- *зниження кількості солі, цукру та жирів для людей з* проблемами ожиріння, серцево-судинних захворювань і діабету. Використовуються альтернативні підсолоджувачі (стевія, еритритол), замінники жирів (авокадо, горіхові масла) і технології зменшення кількості солі без втрати смаку в готовій харчовій продукції;

- *органічні продукти, які* вирощені без використання пестицидів, гербіцидів і штучних добрив, постійно зростає. Це також включає використання органічної

сировини в перероблених продуктах (наприклад, органічні напівфабрикати, соуси або хліб);

- *біоактивні компоненти,* такі як омега-3 жирні кислоти, фітонутрієнти та антиоксиданти, які допомагають знижувати ризик захворювань, зміцнювати імунну систему і поліпшувати загальний стан здоров'я;

- *технології холодного віджиму та мінімальної обробки* для збереження максимального рівня поживних речовин у продуктах застосовуються технології мінімальної обробки, зокрема холодний віджим для соків і олій, пастеризація за низьких температур або ультразвукове оброблення. Це дає змогу зберігати корисні речовини, ферменти та вітаміни;

- *технології контролю калорійності* за рахунок використання інгредієнтів, що допомагають зменшувати калорійність продуктів, такі як клітковина або низькокалорійні підсолоджувачі. Також популярні продукти з високим вмістом білка, що сприяє насиченню і знижує потребу в переїданні;

- *екологічні та етичні практики* на основі принципів екологічної сталості та етичних стандартів (без жорстокого поводження з тваринами, з повагою до ресурсів довкілля). Це також стосується упаковки — використання біорозкладної або багаторазової упаковки.

Цікавим є вивчення успішного досвіду агроіндустріального холдингу МХП, в якому було змінено департамент маркетингу на департамент створення любові споживачів (CLC — Consumer Love Creation), зважаючи натри основні причини: по-перше, різний погляд у керівництва на систему маркетингу компанії; по-друге, нагальна вимога концентруватися на потребах споживача (Consume) для активного продажу; по-третє, зосередження на відповідальності, щоб споживач був щасливим. Цікавим є факт створення в департаменті CLC наукової команди спеціалістів, яка буде здійснювати глибоке вивчення та дослідження споживачів за допомогою біхевіористів, соціологів, антропологів, психологів, consumer experience спеціалістів, особливо в такий непростий час, коли поведінка споживачів досить мінлива, а саме, з урахуванням умов VUCA (Безуглий, 2021).

У маркетинговому менеджменті МХП застосовується холістичний підхід, зокрема, розвитку його складових (Безуглий, 2022; Безуглий, 2021):

І. *Внутрішній маркетинг МХП* як система комунікації передбачає реалізацію всіма департаментами і функціональними підрозділами зворотного зв'язку щодо підвищення обізнаності співробітників про характер і методи діяльності компанії. Розроблені Кодекс етики, Кодекс бізнес-партнера, Декларація доброчесності, Політика управління конфліктами інтересів тощо.

ІІ. *Інтегрований маркетинг МХП*, який об'єднує декілька видів маркетингу, зокрема електронний маркетинг, інфлюєнс-маркетинг, функціонує спеціальний Digital Hub, який займається розвитком і підтримкою соціальних мереж (Безуглий, 2022). Компанія будує екосистему від зерна, яке вирощують їхні аграрії, до тарілки споживача, де представлена готова продукція холдингу — якісна та смачна їжа. Отже, це інтегрованість за різними напрямками діяльності — агро, птахівництво, виробництво та переробки м'яса, і створення напівготових і готових продуктів харчування (Безуглий, 2023).

III. *Маркетинг взаємовідносин МХП* використовується в комунікаціях зі споживачами, постачальниками, дистриб'юторами та іншими організаціями-партнерами. У холдингу діє кодекс бізнес-партнера, який наголошує про орієнтири для усіх партнерів стосовно ділової етики, прав людини, відносин із працівниками, охорони праці та інших тем, пов'язаних із відповідальною діловою практикою. Він утворює важливу частину програми комплаєнс МХП та визначає, чого можуть очікувати споживачі, партнери, інвестори та інші зацікавлені сторони від МХП на всьому ланцюжку поставок.

IV. *Соціально відповідальний маркетинг МХП* взаємодіє з принципами корпоративної соціальної відповідальності, до якого входять комплекси з виробництва біогазу, отриманого з біомаси рослинного походження, побічних продуктів тваринного походження та стічних вод тощо. Реалізація Програми ділової етики та комплаєнсу розвиває культуру доброчесності та відповідності ділової практики дотриманню законів, правил, стандартів, міжнародним регуляціям та етичним принципам ведення бізнесу. Завдяки якості та безпеці продукції, холдинг має довіру споживачів, партнерів, громад та інших стейкхолдерів.

Висновки

Холістичний підхід до маркетингового менеджменту підприємства в умовах VUCA — це концепція, яка тільки розпочинає розвиватися у діяльності більшості компаній харчової промисловості. Водночас вже існують позитивні успішні приклади — перших новацій у маркетинговій діяльності МХП. Водночас потрібно поширення передового досвіду для інших компаній харчової промисловості, які цікавляться розвитком холістичного підходу до маркетингового менеджменту з метою забезпечення конкурентних переваг для підвищення економічної ефективності і швидкої адаптації, гнучкості до змін в умовах VUCA.

У подальших дослідженнях потрібно, використовуючи запропоновану концепцію, обґрунтувати комплекс конкретних заходів щодо холістичного підходу до маркетингового менеджменту на підприємствах харчової промисловості з урахуванням умов VUCA.

Література

Балабанова, Л. В. (2000). Проблеми маркетингового менеджменту в умовах ринкової економіки України. *Торгівля і ринок України*, 10(1), 217—221.

Багорка, М. О., Пилипенко, А. С. (2017). Маркетинговий менеджмент у системі управління аграрним підприємством та шляхи його удосконалення. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Сер.: Економічні науки*, 26(1), 119—123.

Безуглий, О. (2023). МХП: про трансформацію компанії, нові бренди і унікальні технології. 23.03.2023. Взято з: https:// /www.ucsc.org.ua/oleksij-bezlugyj-mhp-pro-transformacziyu-kompaniyi-novi-brendy-i-unikalni-tehnologiyi/.

Безуглий, О. (2022). МХП: нова філософія маркетингу, комунікації під час війни й актуальні проєкти. 15.09.2022 р. Взято з: https://mmr.ua/show/oleksij-bezuglij-mhp-nova-filosofiya-marketingu-ntervyu.

Безуглий, О. (2021). Як розвивати найвідоміші бренди країни. Поради МХП. 10.10.2021 р. Взято з: https://biz.nv.ua/ukr/novaya-komanda-kosyuka/robota-z-naybilshimi-brendami-krajini-yak-stvoriti-sviy-brend-poradi-mhp-50184783.html.

Бергер, А. Д. (2024). Холістичний маркетинг в харчовій промисловості. *Scientific Collection «InterConf+»*, 42(189), 76—81. https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.02.2024.007.

Бергер, А. Д. (2024). Цифрова трансформація бізнесу в компаніях харчової індустрії. *Наукові праці НУХТ*, 30(1), 81—90. doi.org/10.24263/2225-2924-2024-30-1-9.

Голуб, С. (2013). Маркетинговий менеджмент підприємств будівельної промисловості в умовах глобальної економіки. *Економічний аналіз*, 11(2), 122—125. Взято з: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ecan_2012_11(2)__25.

Друкер, П. (2020). E-book: Виклики для менеджменту XXI століття. Київ. КМ-Букс.

Калмикова, Н. М. (2024). Маркетинговий менеджмент в системі управління підприємством. Взято з: https://ea.donntu.edu.ua/bitstream/123456789/24121/1/МАРКЕТИНГОВИЙ%20МЕНЕДЖМЕНТ%20В%20СИСТЕМІ%20УПРАВЛІННЯ%20ПІДПРИЄМСТВОМ.pdf.

Кошова, І. О. (2018). *Маркетинговий менеджмент: теорія, методологія, практика*: монографія. Київ: Видавництво ФОП Вишемирський В.

Мандич, О. В. (2019). Маркетинговий менеджмент як основа забезпечення конкурентоспроможного розвитку аграрних підприємств. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*, 206, 252—262. Взято з: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtusg_2019_206_25.

МХП: агроіндустріальний холдинг: офіційний сайт. Взято з: https://mhp.com.ua.

Пачева, Н., Подзігун, С. (2022). Організація маркетингового менеджменту в системі управління підприємством. *Економіка та суспільство*, 38. https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-38-21.

Пєтухова, О. М., Бергер, А. Д. (2023). Вплив штучного інтелекту на маркетингову діяльність підприємств м'ясної промисловості. *Київський економічний науковий журнал*, 3, 129—134. doi.org/10.32782/2786-765X/2023-3-19.

Полищук, С., Вітченко, Є. (2021). Маркетинговий менеджмент на фоні підприємницької діяльності в Україні. *Економіка та суспільство*, 24. doi.org/10.32782/2524-0072/2021-24-8.

Портер, М. (2020). *Конкурентна стратегія. Техніки аналізу галузей і конкурентів* [Текст]; пер. з англ. Н. Кошманенко. Київ: Наш формат.

Раджаманнар, Р. (2023). Квантовий маркетинг. Новий спосіб мислення. Київ. Наш формат.

Савчук, В. (2024). *Менеджмент в умовах невизначеності*. Business Intelligence для ТОПів. Київ: Лабораторія.

Семененко, К. Ю., Дунін, М. Є., Розумей, С. Б. (2022). Адаптована концепція холістичного маркетингу як інструмент залучення та утримання споживачів. *Інтернаука. Серія: Економічні науки: міжнародний науковий журнал*, 4(60), 72—79. doi.org/10.25313/2520-2294-2022-4-7986.

Супрунова, Є. С. (2012). Холістичний маркетинг основні положення і передумови формування. *Економіка та держава*, 9, 72—74. Взято з: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ecde_2012_9_21.

Ткач, О. В., Баланюк, І. Ф., Копчак, Ю. С., Баланюк, С. І. (2016). Маркетинговий менеджмент у діяльності підприємств. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Економіка*, 1, 292—296. Взято з: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvuuec_2016_1%282%29__52.

Фісун, Ю., Марчук, В. А. (2023). Концепція холістичного маркетингу: теоретичні аспекти та особливості практичного застосування. *Socio-economic relations in the digital society*, 1(47), 61—69. doi.org/10.55643/ser.1.47.2023.480.

Холістичний маркетинг: злагоджена робота. 21.08.2021. Взято з: https://fractus.com.ua/uk/blog/holistichnij-marketing-zlagodzhena-robota-vsih-procesiv-biznesu/.

Яроміч, С. А., Бекетова, О. А., Брєєва, С. М. (2022). Маркетинговий менеджмент у сфері послуг: філософія бізнесу, інструментарій та сучасні тренди. *Підприємництво та інновації*, 22, 59—66. doi.org/10.37320/2415-3583/22.10.

Ebrahim, Reham Shawky (2020). The Role of Trust in Understanding the Impact of Social Media Marketing on Brand Equity and Brand Loyalty. 19(4). doi.org/10.1080/15332667.2019.1705742.

Hashem, A. (2015). Strategic Marketing Management: Achieving Superior Business Performance through Intelligent Marketing Strategy. *Procedia — Social and Behavioral Sciences*, 207, 125—134. doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.10.161.

Ingenbleek, Paul T. M., Meulenberg, Matthew T. G & Trijp, Hans C. M. Van. (2015). Buyer social responsibility: a general concept and its implications for marketing management. *Journal of Marketing Management*, 31(13—14). doi.org/10.1080/0267257X.2015.1058848.

Kotler, P., Keller, K. L. (2016). Marketing Management. Edition. Pearson.

Kotler, P., Keller, K., Chernev, A. (2021). Marketing Management. 16th Edition. Pearson.

Olson, Eric M., Olson, Kai M., Czaplewski, A. J. & Key, T. M. (2021). Business strategy and the management of digital marketing. *Business Horizons*, 64(2), 285—293. doi.org/10.1016/j.bushor.2020.12.004.

Sheth, J. (2021). New areas of research in marketing strategy, consumer behavior, and marketing analytics: the future is bright. *Journal of Marketing Theory and Practice*, 29. doi.org/10.1080/10696679.2020.1860679.

УДК 663.551

INNOVATIVE TECHNOLOGY FOR PROCESSING INTERMEDIATES AND BY-PRODUCTS IN ALCOHOL PRODUCTION

Y. Bulii, A. Kuts, I. Karpovych, Y. Zaporogets
National University of Food Technologies

Key words:
Distillation unit
Distillation
Impurity concentration column
Alcohol
Steam
Alcohol-containing fractions
Impurities
Cyclic rectification

Article history:
Received 05.11.2024
Received in revised form 19.11.2024
Accepted 02.12.2024

Corresponding author:
Y. Bulii
E-mail:
yvbuliy@gmail.com

Citation: Булій Ю. В., Куц А. М., Карпович І. В., Запорожець Ю. В. (2024). Інноваційна технологія переробки напівпродуктів і побічних продуктів у спиртовому виробництві. *Наукові праці НУХТ*, 30(6), 87—98.
DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-6-9

ABSTRACT

The efficiency of processing intermediates and by-products in alcohol production depends on the degree of ethyl alcohol purification from organic impurities and the heating steam consumption in the distillation unit. Known methods of alcohol-containing fractions processing assume deep hydroselection and increase of heating steam consumption in the impurity concentration column on average by 28.7% (from 2.56 to 3.59 kg/kg of anhydrous alcohol). Increasing the time of liquid stay on the column plates up to 30—40 s allows increasing the efficiency of mass transfer between liquid and steam and creating conditions for maximum separation of volatile impurities.

An innovative technology of cyclic rectification was developed, which provides for controlled cycles of liquid retention on the column plates and its overflow without interruption of heating steam supply. For its realisation the design of a rectification column was developed, hydrodynamic modes of operation of mesh and flake plates in a cyclic mode were established: steam velocity in a free section of a column and holes of plates for mass exchange and overflow of liquid was determined.

The research results obtained in production conditions proved the advantages and feasibility of using the technical solution: in the process of processing of alcohol-containing fractions head impurities were fully removed, the degree of extraction of higher alcohols of sivush oil increased by 38%, methanol — by 15.6%, the multiplicity of concentration of head impurities increased by 25%, higher alcohols — by 40%, methanol — by 34%. At the same time, the steam consumption in the column was reduced by 40% in comparison with typical units operating in stationary mode and did not exceed 12 kg/dal of anhydrous alcohol.

DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-6-9

ІННОВАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПЕРЕРОБКИ НАПІВПРОДУКТІВ І ПОБІЧНИХ ПРОДУКТІВ У СПИРТОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ

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

Ефективність переробки напівпродуктів і побічних продуктів у спиртовому виробництві залежить від ступеня очищення етилового спирту від органічних домішок і витрати гріючої пари в брагоректифікаційній установці. Відомі способи переробки спиртовмісних фракцій передбачають проведення глибокої гідроселекції і збільшення витрати гріючої пари в розгінній колоні в середньому на 28,7% (від 2,56 до 3,59 кг/кг безводного спирту). Подовження часу перебування рідини на тарілках колони до 30—40 с підвищує ефективність масообміну між рідиною і парою та створює умови для максимального видалення летких домішок.

У НУХТ розроблена інноваційна технологія циклічної ректифікації, яка передбачає проведення контрольованих циклів затримки рідини на тарілках колони та її переливу без переривання подачі гріючої пари. Для її реалізації розроблено конструкцію ректифікаційної колони, встановлені гідродинамічні режими роботи сітчастих і лускоподібних тарілок в циклічному режимі: визначена швидкість пари у вільному перерізі колони й отворах тарілок для проведення масообміну і переливу рідини.

Отримані у виробничих умовах результати досліджень довели переваги і доцільність використання технічного рішення: в процесі переробки спиртовмісних фракцій цілком видаляються головні домішки, ступінь вилучення вищих спиртів сивушної олії зростає на 38%, метанолу — на 15,6%, кратність концентрування головних домішок збільшується на 25%, вищих спиртів — на 40%, метанолу — на 34%. При цьому витрати пари в колоні зменшуються на 40% порівняно з типовими установками, які працюють в стаціонарному режимі, і не перевищують 12 кг/дал безводного спирту, що вводиться з живленням.

Ключові слова: *брагоректифікаційна установка, розгінна колона, спирт, пара, спиртовмісні фракції, домішки, циклічна ректифікація.*

Постановка проблеми. Енергетична залежність індустріально розвинених країн від постачальників природного газу і нафти вимагає пошуку альтернативних джерел енергії, одним із яких є етиловий спирт (біоетанол). Для забезпечення конкурентоспроможності біоетанолу перед вуглеводневими енергоносіями необхідною умовою є розробка і впровадження інноваційних ресурсо-, енергозберігаючих і безвідходних технологій та підвищення експлуатаційних і технологічних характеристик брагоректифікаційних установок (БРУ) (Українець, Шиян, & Сосницький, 2006).

Отримання ректифікованого етилового спирту високої якості можливе за умови більш повного вилучення та концентрування летких домішок на тарілках ко-

лонного обладнання (Марценюк, Малежик, & Зоткіна, 2019). Для цього використовують закритий обігрів колон, збільшують кількість тарілок: у бражній — від 25 до 28—30, епюраційній — від 40 до 60, ректифікаційній — від 78 до 88—90, сивушній — від 60 до 80, розгінній — від 40 до 60 тарілок. Для підвищення коефіцієнтів ректифікації головних і частини проміжних домішок, зокрема ізопропілового спирту, проводять їх гідроселекцію в епюраційній і розгінній колонах (Міщенко, Кизюн, Можаровська, & Олійник, 2020). Через необхідність видалення головних домішок у ректифікаційній колоні збільшують зону пастеризації від 3—5 до 10—15 тарілок. Для видалення метилового спирту, естерів, альдегідів і покращення органолептичних показників товарного спирту БРУ оснащують колоною кінцевого очищення, дія якої відбувається в режимі повторної епюрації (Українець, Шиян, & Сизько, 2010).

У БРУ одночасно з виділенням летких домішок завдяки реакції етерифікації відбувається новоутворення органічних сполук, які погіршують якість спирту і зменшують його вихід. Так, під час перегонки дозрілої бражки разом з виділенням летких сполук відбувається новоутворення низки речовин, які ускладнюють подальше очищення спирту. Новоутворення естерів, альдегідів і ацеталей органічних кислот відбувається завдяки взаємодії спиртів, кислот і альдегідів, продуктів розпаду амінокислот, сірчистих з'єднань та інших сполук, які містяться в бражці.

Походження органічних домішок може бути різним. Деякі потрапляють із сировиною, водою і парою, інші утворюються під час перебігу хімічних і біохімічних реакцій у процесах бродіння, перегонки бражки, очистки спирту, а також під час його зберігання в металевих резервуарах.

Для видалення домішок відомі способи переробки спиртовмісних напівпродуктів і побічних продуктів спиртового виробництва передбачають проведення глибокої гідроселекції і збільшення витрати гріючої пари в розгінній колоні (РК) в середньому на 28,7% (від 2,56 до 3,59 кг/кг безводного спирту). Через недостатній інтервал часу контакту пари і рідини на тарілках колон коефіцієнти корисної дії контактних пристроїв не перевищують 0,4...0,6 (Шиян, Сосницький, & Олійнічук, 2009). Для здійснення ефективного масообміну необхідною умовою є визначений час контакту, який має експериментальний характер. Перспективним напрямком для вирішення цієї проблеми є використання нестаціонарного (циклічного) режиму роботи колонного обладнання завдяки почерговій зміні періодів пропускання пари і переливу рідини (Kiss, & Bildea, 2011; Maleta, Shevchenko, Bedryk, & Kiss, 2015).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження фізико-хімічних умов розділення багатокомпонентних систем у режимі контрольованих циклів ректифікації, розробка на основі законів термодинаміки раціональних методів розрахунку і конструювання ректифікаційних колон циклічної дії, роботи щодо комп'ютерного моделювання циклів затримки і переливу рідини розпочалися ще в 60—70-ті роки XX століття (Andersen та ін., 2018; Kiss, 2014; Flodman, & Timm, 2012). Авторам вдалося досягти збільшення парового навантаження на 48% за незмінного перепаду тиску без внесення конструкційних змін у колону, вдвічі збільшити пропускну здатність установки з ковпачковими тарілками порівняно з типовою при однаковому ступені розділення, розробити гідродинамічну модель

ректифікації з почерговим рухом фаз, теорію стрибкоподібної циклічної ректифікації — нового способу періодичного управління, в якому рух рідини залежав від пульсації парового потоку, та запропонувати новий тип тарілки, що являла собою традиційну сітчасту тарілку зі спеціальною похилою ділянкою для уповільнення зливу рідини (Nielsen, Huusom, Abildskov, & Based, 2017; Toftegard, Clausen, Jorgensen, & Abildskov, 2016; Rasmussen, Mansouri, Zhang, Abildsko, & Huusom, 2020).

З огляду на зростання цін на енергоносії інтерес до вивчення циклічних способів ректифікації в останні роки значно зріс і в Україні. В Національному університеті харчових технологій були запропоновані спеціальні клапанні контактні пристрої, які забезпечували контрольовані цикли затримки та переливу рідини (патент UA 60566. Масообмінна контактна тарілка). Пілотні випробовування пристроїв довели можливість зменшення питомої витрати гріючої пари в установках циклічної дії на 30% порівняно з типовими. Недоліки пристроїв: залежність роботи переливних пристроїв від тиску пари, обмеженість ректифікаційної колони по висоті, необхідність встановлення проміжних тарілок, виникнення імпульсу запізнення відкриття та закриття рухомих клапанів тощо.

Незважаючи на отримані позитивні результати досліджень, вищеописані способи і моделі не знайшли широкого практичного застосування. Відсутність масообміну в паровий період, коливання тиску пари в колекторі, кубовій частині колони і дефлегматорі негативно впливали на якість готового продукту та роботу інших колон. Складність конструктивних рішень для підтримання циклічного режиму не забезпечувала надійність роботи колонного обладнання.

Для вирішення актуального завдання співробітники кафедри біотехнології продуктів бродіння і виноробства НУХТ і ТОВ «ТІСЕР» запропонували інноваційну технологію ректифікації, яка передбачає циклічний рух рідини по тарілках колони зверху до низу без переривання подачі гріючої пари (Булій, Шиян, Куц, & Кириленко, 2017). Для її реалізації була розроблена конструкція ректифікаційної колони (патент UA 116565. Ректифікаційна колона з керованими циклами). Ефективність технічних рішень визначали в процесі переробки напівпродуктів і побічних продуктів брагоректифікації. Для проведення досліджень експериментальна РК була оснащена лускоподібними тарілками і рухомими переливними пристроями, з'єднаними з приводними механізмами, дія яких відбувалася відповідно до програми контролера.

Мета статті: вдосконалення технології циклічної ректифікації, розробка конструкції ректифікаційної колони для забезпечення циклічного руху рідини за безперервної подачі пари, дослідження ефективності інноваційної технології в процесі переробки спиртовмісних напівпродуктів і побічних продуктів брагоректифікації, визначення оптимальних технологічних режимів роботи РК, питомої витрати пари, ступеня вилучення і кратності концентрування летких домішок спирту.

Для досягнення поставленої мети першочерговим завданням було визначення гідродинамічних режимів роботи сітчастих і лускоподібних тарілок:

- встановлення робочого діапазону швидкості пари у вільному перерізі РК та в отворах тарілок (нижньої межі, за якої провал рідини з верхньої тарілки на нижче розташовану тарілку припинявся, і верхньої межі, за якої відбувалося винесення рідини на верхні тарілки);

- визначення швидкості пари в отворах тарілок, за якої відбувався інтенсивний перелив рідини з верхніх тарілок на нижні.

Матеріали і методи. Для оцінювання отриманих результатів досліджень використовувались аналітичні, хімічні, фізико-хімічні та розрахункові методи аналізу, що застосовуються у виробництві ректифікованого етилового спирту.

Витрати рідини. Витрати спиртовмісних фракцій, води, кубової водно-спиртової рідини, ректифікованого спирту і концентрату домішок контролювали за допомогою витратомірів постійного перепаду тиску РМ (Хансуваров, & Цейтлин, 2015). Принцип їх дії заснований на сприйнятті динамічного напору контрольованого середовища, що залежить від витрати рідини, чутливим елементом (поплавком), поміщеним у потік. У потоці рідини чутливий елемент переміщувався по висоті витратоміра. Покази знімали по шкалі, градуйованій по воді в дм^3/год.

Швидкість пари у вільному перерізі колони визначали за допомогою вихрового витратоміра (VFM), оснащеного стрижнем відкидання, розташованим на шляху потоку пари, з якого викидаються вихори. Частота відкидання змінювалась лінійно залежно від швидкості пари. Розміщення п'єзоелектричного датчика нижче потоку і розрахунок пікової частоти його сигналу давали змогу фіксувати швидкість пари та її витрату **(**Dattarajan, Pali, Fernandes, Gadwal, & Hulwan, 2019).

Концентрацію етилового спирту у водно-спиртових розчинах визначали ареометричним методом (Янчевський, Ковальчук, Кравчук, Попова, & Олійник, 1999). Дослідний розчин наливали в скляний циліндр об'ємом 250 см^3, вимірювали температуру термометром з ціною поділки 0,1 °С, після чого занурювали спиртомір АСП-1. За показами спиртоміра і спеціальними таблицями поправок на температуру знаходили дійсну концентрацію етилового спирту за температури 20 °С (Янчевский, Олийничук, Кравчук, Ковальчук, & Михайло, 2002).

Концентрацію летких домішок спирту (естерів, альдегідів, вищих спиртів сивушної олії і метанолу) в живленні, кубовій рідині РК, концентраті домішок і ректифікованому етиловому спирті визначали на газовому хроматографі з колонкою HP FFAP 50 m×0,32 m. Аналіз дослідних проб проводили в триразовій повторності. Визначальними обиралися середні величини (Plutowska, & Wardenski, 2008; Steven, & Lehotay, 2002; Dewulf, 2002).

Ступінь вилучення (α) і кратність концентрування (β) летких домішок спирту розраховували за формулами:

$$\alpha = \frac{X_{ж}}{X_{куб}};\ \beta = \frac{X_{кес}}{X_{ж}};$$

де $X_{ж}$, $X_{кес}$, $X_{куб}$ — відповідно, концентрація домішок на тарілці живлення, естеросивушному концентраті і кубовій водно-спиртовій рідині, мг/дм^3 у перерахунку на безводний спирт (б.с.) (Шиян, Сосницький, & Олійнічук, 2009).

Викладення основних результатів дослідження. Дослідження проводились у виробничих умовах Чуднівської філії ДП «Житомирський лікеро-горілчаний завод». Експериментальна РК була виготовлена з нержавіючої сталі марки AISI 304 і оснащена лускоподібними тарілками арочного типу. Технічна характеристика: діаметр — 630 мм; кількість тарілок — 30; відстань між тарілками — 300 мм; площа перерізу отворів — 19,42 мм^2; товщина полотна тарілки — 3 мм; живий переріз тарілки: в період перебування рідини на полотні — 5,5%; в період переливу рідини — 51,7%.

Фрагмент РК з рухомими тягами і закріпленими на них клапанами представлений на рис. 1.

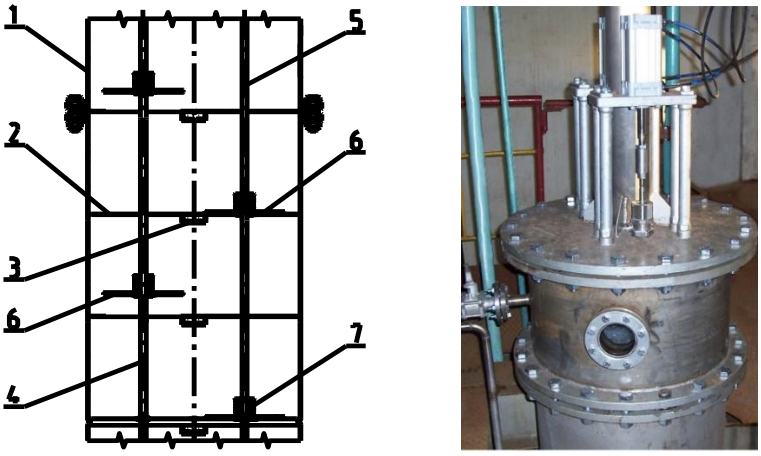


Рис. 1. **Фрагмент дослідної РК з рухомими клапанами:**
1 — корпус; 2 — тарілки; 3 — контактні елементи (тарілки); 4, 5 — тяги;
6 — клапани; 7 — пружини

Колона містила корпус 1, тарілки 2 з контактними елементами 3, рухомі тяги 4 і 5, на яких були закріплені клапани 6 і пружини 7. Тяги рухались вверх і вниз періодично під дією приводних механізмів (пневмоциліндрів двосторонньої дії типу DNT компанії FESTO). При цьому клапани 6 почергово закривали і відкривали отвори для переливу рідини. Управління пневмоциліндрами відбувалося відповідно до програми контролера. Дія колони передбачала проведення контрольованих у часі циклів затримки рідини на тарілках і синхронного її переливу з тарілки на тарілку по всій висоті колони у два послідовних етапи, що повторювались періодично в часі, почергово, за заданим алгоритмом без переривання подачі пари і рідини (патент UA 89874. Спосіб переливу рідини по тарілках колонного апарата у процесі масообміну між парою та рідиною). Інтервал рідинної затримки визначався експериментально залежно від ступеня вилучення летких домішок спирту та кратності їх концентрування і становив 30—40 с.

Технічне рішення давало змогу здійснювати повний і дробний перелив рідини (рис. 2). Згідно з другим способом (патент UA 141245. Спосіб переливу рідини по тарілках масообмінного колонного апарата) на першій стадії з верхньої тарілки на нижню переливалася частина рідини (30—70% від її об’єму), а після закінчення заданого часу затримки рідини переливалися її залишки.

Апаратурно-технологічна схема включення експериментальної РК в схему БРУ показана на рис. 3. Схемою передбачалось введення на тарілку живлення головної фракції етилового спирту, погонів із конденсаторів бражної колони і сепаратора вуглекислого газу, сивушного спирту та підсивушної промивної води.

На першому етапі досліджували гідродинамічні режими роботи сітчастих і лускоподібних тарілок для забезпечення циклічного режиму роботи колони.

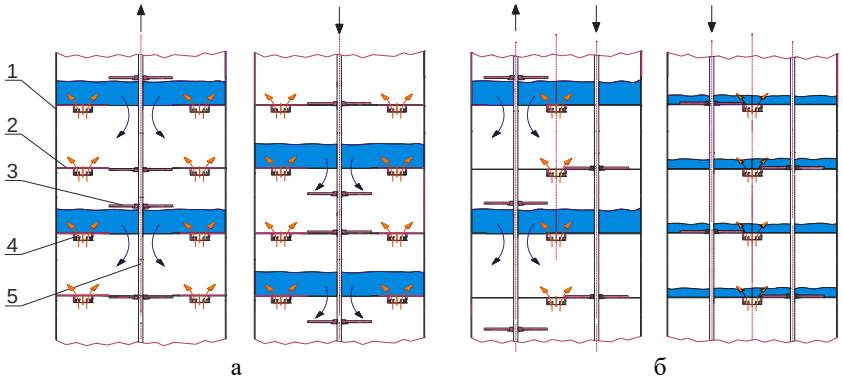


Рис 2. Повний (а) і дробний (б) способи переливу рідини: 1 — корпус ректифікаційної колони; 2 — тарілка; 3 — клапан; 4 — контактний елемент; 5 — рухома тяга

Для цього експериментальним шляхом визначали гранично допустиму швидкість пари, яка відповідала нижній і верхній межі роботи тарілок, і оптимальну робочу швидкість пари у вільному перерізі колони й отворах тарілок. Нижня межа відповідала такій швидкості пари, за якої провал рідини через отвори тарілок припинявся, а верхня межа відповідала такій швидкості пари, за якої розпочиналось винесення рідини на верхні тарілки. Встановлено, що швидкість пари у вільному перерізі колони, оснащеної сітчастими тарілками, не повинна перевищувати 0,7 м/с. За такої швидкості пари бризковиніс рідини був неможливим. Мінімальна швидкість пари в отворах, за якої рідина утримувалась на тарілках, становила 4—5,5 м/с. Ефективний масообмін між рідиною і парою відбувався за оптимальної швидкості пари в отворах у межах 7,5—8,0 м/с. У разі використання лускоподібних тарілок швидкість пари у вільному перерізі колони доцільно підвищити до 1,2 м/с і більше. В період масообміну швидкість пари в отворах лусок повинна становити 12—14 м/с (струменевий режим). Провалювання рідини через отвори лусок спостерігалось у разі зменшення швидкості пари в отворах нижче нижньої критичної межі, а саме 6,5—7,5 м/с. Інтенсивний перелив рідини відбувався за швидкості пари в отворах 1,5—1 м/с (Булій, Ободович, & Сидоренко, 2019).

На другому етапі досліджували ефективність інноваційної технології в процесі розгонки спиртовмісних фракцій: визначали оптимальний технологічний режим роботи РК, питому витрату пари, ступінь вилучення і кратність концентрування летких домішок спирту. На тарілку живлення подавали спиртовмісні фракції в кількості 135 дм^3/год в перерахунку на безводний спирт (б. с.). З них головної фракції етилового спирту — 8,5%, погонів із конденсатора бражної колони — 9,4%, конденсатора сепаратора вуглекислого газу — 3,0%, сивушного спирту — 1,5%, підсивушної промивної води — 1,5%. Час затримки рідини на тарілках становив 30 с, час переливу — 1,7 с. Тиск у кубовій частині РК дорівнював 17,5 кПа, у верхній її частині 2—5 кПа. Температура в кубі колони дорівнювала 102—103 °С, у верхній частині 90—91 °С, води на охолодження на вході в конденсатор 15 °С, на виході після дефлегматора 65 °С. Воду на гідроселекцію в кількості 2400 дм^3/год насосом 2 подавали із збірника 1 через ротаметр 3 на верхню тарілку колони. Концентрація етилового спирту на тарілках концентраційної ча-

стини становила 7% об., а в кубовій частині 4—5% об. Спиртовмісні фракції підігрівались теплом лютерної води в збірнику 20, з якого насосом 19 подавались на тарілку живлення.

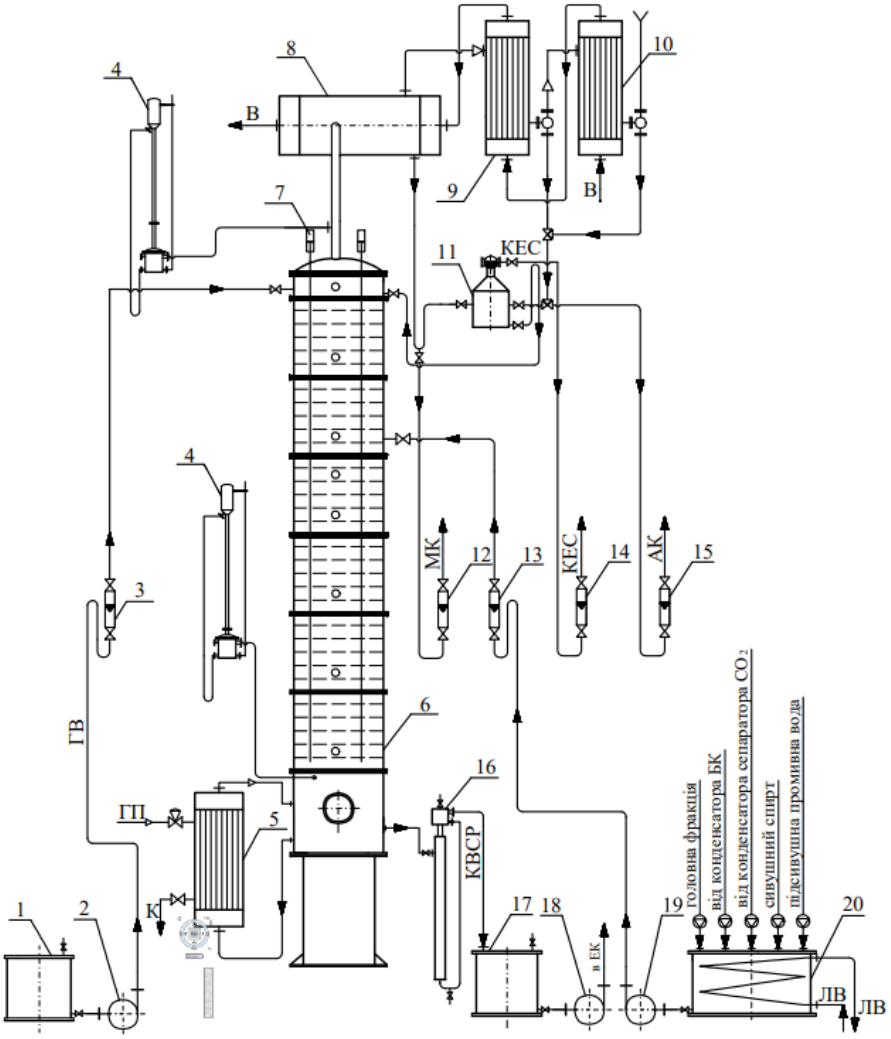


Рис. 3. Апаратурно-технологічна схема установки для вилучення етилового спирту із спиртовмісних фракцій: 1 — збірник пом'якшеної води; 2, 18, 19 — відцентрові насоси; 3, 12, 13, 14, 15 — витратоміри; 4 — вакуум-перервачі; 5 — випарник; 6 — розгінна колона; 7 — пневматичні циліндри; 8 — дефлегматор; 9 — конденсатор; 10 — спиртовловлювач; 11 — декантатор; 16 — гідравлічний затвір; 17 — збірник КВСР; 20 — збірник спиртовмісних фракцій
Умовні позначення: В — вода на охолодження; ГВ — вода на гідроселекцію; ГП — гріюча пара; ЕК — епюраційна колона; К — конденсат пари; КВСР — кубова водно-спиртова рідина; КЕС — концентрат естеро-сивушний; АК — альдегідний концентрат; МК — метанольний концентрат; ЛВ — лютерна вода

Звільнену від головних і частини проміжних летких домішок кубову водно-спиртову рідину (КВСР) насосом 18 перекачували у верхню зону концентраційної

частини епюраційної колони (ЕК). Пара з верхньої частини колони 6 надходила в дефлегматор 8, в якому конденсувалися переважно вода, вищі спирти, частково складні естери та етанол. В конденсаторі 9 відбувалася конденсація низькокиплячих альдегідів і метилового спирту, пари яких не сконденсувалися в дефлегматорі. Флегму із дефлегматора 8 і більшу частину конденсату головних і кінцевих домішок із конденсатора 9 направляли в декантатор 11. У декантаторі гетерогенна суміш розшаровувалась, утворюючи верхній шар — КЕС, що містив естери, вищі спирти та частину альдегідів, і нижній шар — водно-спиртову рідину, звільнену від головних, частини проміжних і кінцевих домішок. КЕС виводили із установки через витратомір 14, а рідину із нижньої частини декантатора 11 у вигляді флегми подавали на верхню тарілку РК. Частину флегми виводили з установки у вигляді метанольного концентрату (МК) через витратомір 12, а з конденсатора 9 відбирали альдегідний концентрат (АК) через витратомір 15.

Для розрахунку ступеня вилучення (α) і кратності концентрування (β) домішок спирту відбирали дослідні проби живлення, КВСР, КЕС, рідину з 2-, 6-, 11-, 17- і 26-ї тарілок колони і проводили їх хроматографічний аналіз. Встановлено, що для отримання високоякісного спирту відбір КЕС повинен становити 0,23—0,27%, АК потрібно відбирати у співвідношенні 1:2—1:2,5 до КЕС, а МК відбирати у разі, якщо концентрація метанолу в КВСР перевищує 0,001% об.

Практично доведено, що організація диференційованого відбору домішок із зон їх максимального накопичення, автономне регулювання їх співвідношення залежно від якісного складу живлення дали змогу підвищити ефективність переробки (Маринченко, Домарецький, Шиян, Швець, Циганков, & Жолнер, 2000). Розділення гетерогенної суміші в декантаторі, відбір МК і АК сприяли зниженню вмісту в кубовій рідині головних, частини проміжних і кінцевих домішок (метилового спирту, ацетальдегіду, н-пропілового та ізопропілового спиртів, кротонового альдегіду, акролеїну), а також складних естерів (метилацетату, етилацетату, етилформіату та етилбутирату), завдяки чому якість ректифікованого спирту підвищувалась. Результати хроматографічного аналізу дослідних проб наведені в табл. 1.

Таблиця 1. **Розподілення летких домішок спирту по висоті РК**

Назва домішки	Концентрація, мг/дм^3 (у перерахунку на б. с.)							
	Погони	КВСР	Номер тарілки					КЕС
			2	6	11	17	26	
Ацетальдегід	605,1	сліди	сліди	2,6	3,3	5,3	16,7	13591
Метилацетат	32,3	сліди	сліди	сліди	сліди	сліди	сліди	770,8
Етилацетат	509,4	сліди	сліди	4,7	8,3	18.6	сліди	15344
Ізобутилацетат	14,6	сліди	сліди	сліди	сліди	9,1	47,5	137,2
Ізоамілацетат	81,4	сліди	сліди	сліди	сліди	сліди	сліди	1652,9
Ізопропанол	2,0	сліди	сліди	сліди	1,0	4,4	12,5	42,2
н-пропанол	10064	1080,3	1419,3	2331,1	4894	8035,3	6254,5	53570
Ізобутанол	6851,2	6,5	7,6	47,9	347,5	1749,3	6718,3	204757
н-бутанол	36,1	сліди	5,4	8,6	23,4	24,1	28,7	379,9
Ізоамілол	10355	7,1	8,0	156,7	731,9	1672,4	8531,7	203312
н-пентанол	сліди	сліди	сліди	сліди	сліди	сліди	сліди	17,4

Продовження таблиці 1

Акролеїн	25,9	сліди	сліди	сліди	сліди	сліди	сліди	447,6
Кротональдегід	сліди	сліди	сліди	сліди	сліди	сліди	сліди	136,7
Альдегіди	605,1	сліди	сліди	2,6	3,3	5,3	16,7	13591
Естери	637,7	сліди	сліди	4,7	8,3	27,7	47,5	17905
Сивушна олія	27308	1093,9	1440,2	2544,4	5998	11485	21545	462079
Метанол, % об.	0,026	0,001	0,001	0,002	0,004	0,003	0,005	2,1
Етанол, % об.	82,0	5,4	10,0	13,0	13,0	12,4	7,0	68,0
Нетипові	25,9	сліди	сліди	сліди	сліди	сліди	сліди	447,6

Аналіз даних табл. 1 показав, що в циклічному режимі разом з головними ефективно вилучаються проміжні та кінцеві домішки, в повній мірі видалялися альдегіди (ацетальдегід), естери (метилацетат, етилацетат, ізобутилацетат, ізоамілацетат), нетипові (акролеїн, кротоновий альдегід), н-пентанол та ізопропіловий спирт. Серед естерів найвищу кратність концентрування мав етилацетат, найнижчу — ізобутилацетат. Із вищих спиртів сивушної олії найбільш ефективно концентрувався ізобутанол, найменшу ступінь вилучення та кратність концентрування мав н-пропанол.

Розрахункові значення (α) і (β) для альдегідів, естерів, вищих спиртів сивушної олії, метилового спирту і нетипових домішок (акролеїну) в умовах типової та циклічної ректифікації наведені в табл. 2.

Таблиця 2. **Ступінь вилучення (α) і кратність концентрування (β) летких домішок спирту в режимі типової і циклічної ректифікації**

Найменування домішки	Типова ректифікація		Циклічна ректифікація	
	α	β	α	β
Альдегіди	86,4	16,9	max	22,5
Естери	79,7	21,1	max	28,1
Сивушна олія	21,1	10,0	25,0	16,9
Метанол	16,2	67,4	26,0	102,3
Акролеїн	64,7	11,2	max	17,4

Кратність концентрування (β) ключових летких домішок спирту (альдегідів і вищих спиртів сивушної олії) показана на діаграмі (рис. 4).

Аналіз даних табл. 2 і діаграми свідчить про переваги циклічної ректифікації порівняно з типовою. Експериментально доведено, що в процесі розгонки спиртовмісних фракцій альдегіди, естери і акролеїн видалялися в повній мірі, ступінь вилучення (α) вищих спиртів сивушної олії зросла на 38%, а метанолу — на 15,6%. При цьому кратність концентрування (β) головних домішок збільшилась на 25%, вищих спиртів на 40%, метанолу на 34%, акролеїну — на 36%, а ізопрпопілового спирту на 42%.

Після включення в роботу РК вихід ректифікованого етилового спирту збільшився на 3,7%, а його показники відповідали вимогам нормативної документації. Витрати гріючої пари визначали із теплового балансу за витратами води на охолодження та її температурою на вході в конденсатор і виході із дефлегматора (Цыганков, 2010). Встановлено, що в умовах циклічної ректифікації витрати гріючої

пари зменшились на 40% порівняно з типовими установками і не перевищували 12 кг/дал б. с., що вводиться із живленням. Для ефективного розділення в РК достатньо встановити 30 контактних пристроїв.

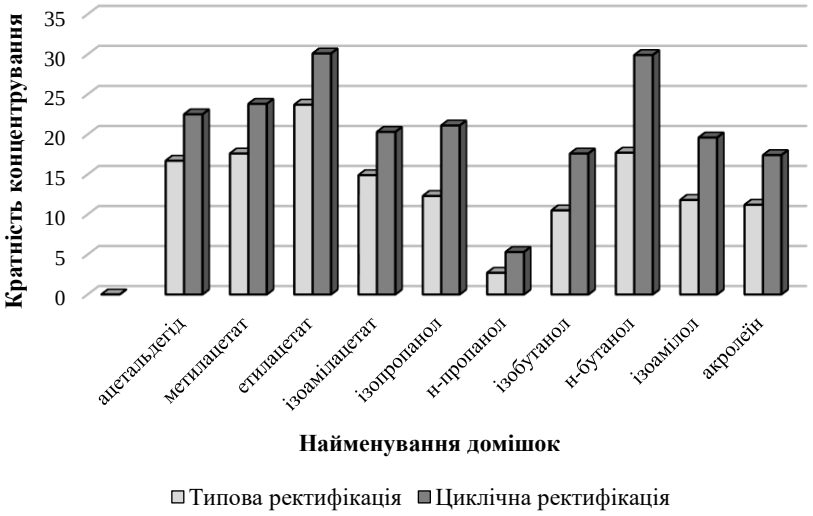


Рис. 4. Кратність концентрування (β) альдегідів і вищих спиртів сивушної олії в умовах типової і циклічної ректифікації

Висновки

1. Встановлені гідродинамічні режими роботи сітчастих і лускоподібних тарілок у циклічному режимі: швидкість пари у вільному перерізі колони, оснащеної сітчастими тарілками, не повинна перевищувати 0,7 м/с, лускоподібними 1,2 м/с; оптимальна швидкість пари в отворах сітчастої тарілки становить 7,5—8,0 м/с, лускоподібної 12—14 м/с; для інтенсивного переливу рідини швидкість пари в отворах не повинна перевищувати 1,5—1,0 м/с.

2. У процесі розгонки спиртовмісних фракцій в циклічному режимі в повній мірі видаляються головні домішки спирту, ступінь вилучення (α) вищих спиртів сивушної олії зростає на 38%, метанолу — на 15,6%, кратність концентрування (β) головних домішок збільшується на 25%, вищих спиртів на 40%, метанолу — на 34%, акролеїну — на 36%.

3. Витрати пари в розгінній колоні циклічної дії зменшуються на 40% порівняно з типовими установками, які працюють в стаціонарному режимі, і не перевищують 12 кг/дал а. а., що вводиться з живленням.

Література

Булій, Ю. В., Ободович, О. М., Сидоренко, В. В. (2019). Визначення гідродинамічних характеристик роботи масообмінних колонних апаратів в циклічному режимі. *Теплофізика та теплоенергетика*, 41(4), 65—69.

Булій, Ю. В., Шиян, П. Л., Куц, А. М., Кириленко, Р. Г. (2017). Інноваційна технологія ректифікації в режимі контрольованих циклів затримки і переливу рідини. *Харчова промисловість*, 23(1), 144—151.

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*, 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.

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.

Хансуваров, К. И., & Цейтлин, В. Г. (2015). *Техніка вимірювання тиску, витрат кількості та рівню рідини, газу та пару.* Київ: Наукова думка.

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 лікеро-горілчаного виробництва.* Київ: УкрНДІспиртбіопрод.

Янчевский, В. К., Олийничук, С. Т., Кравчук, З. Д., Ковальчук, В. П., Михайло, В. Н. (2002). *Таблицы спиртометрические. Справочное пособие.* Киев: УкрНИИспиртбиопрод.

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

Andersen, B. B., Nielsen, R. F., Udugama, I. A., Papadakis, E., Gernaey, K. V., Huusom, J. K., Mansouri, S. S., Abildskov, J. (2018). Integrated process design and control of cyclic distillation columns, *IFAC-PapersOnLine*, 51(18), 542—547.

Dattarajan, S., Pali, S., Fernandes, N., Gadwal, N., Hulwan, D. (2019). Measurement of steam quality using a vortex flowmeter, Flow Measurement and Instrumentation. 65, 227-232. DOI: 10.1016/j.flowmeasinst.2018.12.004.

Dewulf, J. (2002). Analysis of volatile organic compounds using gas chromatography. *Trac-nrends in Analitical Chemistry*, 21(9—10), 637—646. http://hdl.handle.net/1854/LU-158121.

Flodman, H., Timm, D. (2012). Batch Distillation Employing Cyclic Rectification and Stripping Operations. *ISA Transactions*, 51(3), 454—460. DOI: 10.1016/j.isatra.2011.12.003.

Kiss, A., Bildea, C. (2011). A control perspective on process intensification in dividing-wall columns, *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 50(3), 281—292. DOI: 10.1016/j.cep.2011.01.011.

Kiss, A. A. (2014). Distillation technology — still young and full of breakthrough opportunities, *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 89, 479—498. DOI: 10.1002/jctb.4262.

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

Nielsen, R., Huusom, J., Abildskov, J., Based D. (2017). Design of Cyclic Distillation, Industrial & amp; *Engineering Chemistry Research*, 56(38), 10833—10844. DOI: 10.1021/acs.iecr.7b01116.

Plutowska, B., Wardenski, W. (2008). Application of gas hromatography-olfactometry (GC-O) in analysis and quality assessment of alcoholic bewerages — a review. *Food Chemistry*, 449—463. DOI: 10.1016/j.foodchem.2007.08.058.

Rasmussen, J., Mansouri, S., Zhang, X., Abildskov, J., Huusom, J. (2020). A mass and energy balance stage model for cyclic distillation. *AIChE Journal*, 66(8), 1002. DOI: 10.1002/aic.16259.

Steven, Lehotay, S. (2002). Application of gas chromatography in food analysis. *Trac-nrends in Analitical Chemistry*, 21(9—10), 686—697.

Toftegard, B., Clausen, C. H., Jorgensen, S. B., Abildskov, J. (2016). New Realization of Periodic Cycled Separation, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 55(6), 1720—1730. DOI: 10.1021/acs.iecr.5b03911.

УДК 664.858

HARDWARE AND TECHNOLOGICAL ASPECTS OF THE PRODUCTION OF FUNCTIONAL FRUIT AND BERRY PASTE FOR PASTEL AND MARMALADE PRODUCTS

V. Mykhaylov, O. Zagorulko, A. Zahorulko, K. Kasabova, O. Shydakova-Kameniuka, D. Dmytrevskyi
State Biotechnological University

Key words:
Pastry and marmalade products
Fruit and berry raw materials
Concentration
Viscosity
Functional ingredients

Article history:
Received 07.11.2024
Received in revised form 25.11.2024
Accepted 06.12.2024

Corresponding author:
A. Zahorulko
E-mail:
zagorulko.andrey.nikolaevich@gmail.com

Citation: Михайлов В. М., Загорулько О. Є., Загорулько А. М., Касабова К. Р., Шидакова-Каменюка О. Г., Дмитревський Д. В. (2024). Апаратурно-технологічні аспекти виробництва функціональних плодово-ягідних паст для пастильно-мармеладних виробів. *Наукові праці НУХТ*, 30(6), 99—109.
DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-6-10

ABSTRACT

The object of the research was the technology of making fruit pâté based on apple, apricot and rosehip paste.

To improve the sensory and physico-chemical quality characteristics, the technology of making functional fruit pate by using fruit and berry paste as a base was improved. A method for the production of fruit and berry paste consisting of 50% apples, 35% apricots and 15% rosehips was developed. The uniqueness of this method lies in the short-term concentration at a temperature of 52—54 °C for 30—40 seconds in a rotary evaporator, which contributes to the preservation of the functional ingredients of the raw materials, unlike traditional batch evaporation units. The paste нав an improved viscous structure and sensory properties compared to the control sample, which made it possible to recommend it as a fruit base for pate.

The viscosity of the pate mass based on the paste at 50 °C was 225 Pa·s, which was 20% higher than the control ("Fruit" pate), which contributed to better structure formation. At the same time, the sample with the paste had better indicators of taste and smell, which can be characterized as natural and harmonious. Such pate had a natural orange saturated color and was characterized by a long-lasting consistency, and the content of functional ingredients significantly exceeded the control sample. The quantitative content of dietary fiber, vitamin A, C, β-carotene is important, according to which the developed pate based on the paste can be classified as a functional product. This pate was characterized by an organic composition of raw materials, did not contain artificial dyes and flavors, and the proposed technological solutions simplified the process of their production, which made it possible to recommend the technology for implementation in craft production.

DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-6-10

АПАРАТУРНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИРОБНИЦТВА ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПЛОДОВО-ЯГІДНИХ ПАСТ ДЛЯ ПАСТИЛЬНО-МАРМЕЛАДНИХ ВИРОБІВ

В. М. Михайлов, О. Є. Загорулько, А. М. Загорулько, К. Р. Касабова, О. Г. Шидакова-Каменюка, Д. В. Дмитревський
Державний біотехнологічний університет

Об'єктом дослідження є технологія виготовлення пату фруктового на основі пасти з яблук, абрикос і шипшини.

Для покращення органолептичних та фізико-хімічних характеристик якості вдосконалено технологію виготовлення функціонального фруктового пату шляхом використання плодово-ягідної пасти як основи. Розроблено метод виробництва плодово-ягідної пасти, що складається з 50% яблук, 35% абрикосів і 15% шипшини. Унікальність цього методу полягає в короткочасному концентруванні при температурі 52—54 °С протягом 30—40 с у роторному випарнику, що сприяє збереженню функціональних інгредієнтів сировини, на відміну від традиційних періодичних випарних установок. Паста має покращену в'язку структуру й органолептичні властивості порівняно з контрольним зразком, що дає змогу рекомендувати її як фруктову основу для пату.

Встановлено в'язкість маси пату на основі пасти при 50 °С — 225 Па·с, яка на 20% більше за контроль (пат «Фруктовий»), що сприятиме кращому структуроутворенню. При цьому зразок з пастою має кращі показники смаку та запаху, які можливо охарактеризувати як натуральні та гармонійні.

Новий пат має природний помаранчевий насичений колір і характеризується затяжною консистенцією, а за вмістом функціональних інгредієнтів значно перевершує контрольний зразок. Важливим є кількісний вміст харчових волокон, вітаміну А, С, β-каротину, за яким розроблений пат на основі пасти можливо віднести до функціональних продуктів. Нові вироби характеризуються органічним складом сировини, не містять штучних барвників та ароматизаторів, а запропоновані технологічні рішення спрощують процес їх виготовлення, що надає можливість рекомендувати технологію для впровадження на крафтових виробництвах.

Ключові слова: *пастильно-мармеладні вироби, плодово-ягідна сировина, концентрування, в'язкість, функціональні інгредієнти.*

Постановка проблеми. Щороку зростає інтерес до продуктів здорового харчування, серед яких особливу популярність мають кондитерські вироби. Солодощі вирізняються чудовими смаковими якостями, привабливим зовнішнім виглядом, здатністю покращувати настрій і забезпечувати енергією завдяки високому вмісту вуглеводів та енергетичній цінності. З огляду на зростання популярності здорового способу життя та натуральних продуктів лікарі, дієтологи та нутриціологи рекомендують звернути увагу на такі вироби, як мармелад, пастила і зефір.

Під поняттям «натуральні продукти» споживачі, зазвичай, мають на увазі органічні вироби, які не містять шкідливих добавок.

Виготовлення корисних солодощів базується на використанні фруктів, ягід та овочів, які є перспективними інгредієнтами для створення функціональних продуктів з високими органолептичними властивостями та користю для здоров'я. Проте така сировина має короткий термін зберігання, тому виникає необхідність переробки для її тривалого зберігання. Основною метою обробки рослинної сировини є запобігання псуванню продуктів під час зберігання через розвиток бактерій, дріжджів і плісняви, що дає змогу робити сезонну продукцію доступною протягом тривалого часу, зберігаючи її органолептичні та поживні властивості, що також важливо для здоров'я.

Щадна переробка рослинної сировини в пасти розглядається як перспективний технологічний процес для кондитерської промисловості. Важливим аспектом розвитку крафтових виробництв є вдосконалення та використання компактного ресурсозберігаючого обладнання, що сприятиме виробництву пастильно-мармеладних виробів високої якості з функціональним призначенням. Тому дослідження, спрямовані на вдосконалення технології таких виробів на основі плодово-ягідної пасти, є актуальними (Gunes, Palabiyik, Konar, & Toker, 2022).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо, що локально вирощена плодово-ягідна сировина є чудовим джерелом біологічно активних сполук з корисними властивостями. Вона має численні переваги для здоров'я та може використовуватися для приготування функціональної продукції (Pathania, & Kaur, 2022). Крім того, різні компоненти плодово-ягідної сировини можуть бути широко впроваджені в харчовій промисловості як добавки при приготуванні, наприклад, цукатів для кондитерської промисловості або як джерело пектину, барвника чи ароматизатора (Charis та ін., 2021).

Сучасні виробництва не можливо уявити без використання харчових добавок, тобто речовин, що надають харчовим продуктам аромат, колір, смак і поживні властивості (Najmi, Holinesti, & Mustika, 2023). Водночас усе більше уваги приділяється включенню саме натуральних добавок, отриманих з рослинної сировини, що містить біоактивні компоненти, які можуть бути природною заміною синтетичних харчових добавок. Ще однією їх функцією є застосування пектинових речовин як загусника, стабілізатора, емульгатора, гелеутворювача при приготуванні кондитерських виробів (Samokhvalova, Kasabova, Shmatchenko, Zagorulko, & Zahorulko, 2021; Munekata та ін., 2021).

Оскільки фрукти та овочі є важливою частиною здорового харчування, постає питання якісної їх переробки в різноманітні харчові продукти, такі як пюре, пасти, варення, желе, цукати, концентрати тощо. Йдеться про спосіб, що забезпечить збереження високих сенсорних властивостей вихідної сировини та вмісту функціональній інгредієнтів. Так, запропоновано ресурсоефективне обладнання для щадної попередньої теплової обробки рослинної сировини перед концентруванням — підігрівання в темперуючому апараті до 50 °С для зменшення динамічної в'язкості сировини перед початком концентрування (Пашнюк, 2023). Основним недоліком цього обладнання є відсутність багатофункціональності, тобто поєднання операцій купажування, концентрування та пастеризації, що особливо актуально в умовах крафтових виробництв.

Важливим є пошук нових технологій для підвищення сталого виробництва кондитерських виробів із заявами про корисність, функціональність, збагачений рецептурний склад і стійкість (Chomanov, & Idayatova, 2023; Alekseenko, Chernykh, & Bakumenko, 2021). Тож нового потужного поштовху зазнало виробництво желейних цукерів і мармеладів з фруктовими інгредієнтами, які позиціонуються як здорові та натуральні (Fil, & Mikhailyuk, 2017).

Перспективною сировиною для низки кондитерських виробів можна вважати плодоовочеві пасти, які отримані шляхом застосування щадних режимів, що дає змогу зберегти весь потенціал вихідної сировини (Mykhailov, Zahorulko, Zagorulko, Liashenko, & Dudnyk, 2021). Так, запропоновано використовувати багатокомпонентну плодоовочеву пасту з яблук, айви, гарбуза у технології рахат-лукуму. Її застосування забезпечує вироби гарними органолептичними показниками, зменшує кількість крохмалю в рецептурі на 20% та розширює асортимент здорових і натуральних продуктів з підвищеною харчовою цінністю (Pereira, & Silveira, 2015; Черевко, Михайлов, Кіптела, Захаренко, & Загорулько, 2015; Михайлов, Загорулько, Загорулько, Касабова, & Гордієнко, 2019). Обґрунтовано необхідність оптимізації харчової цінності мармеладу шляхом використання у його складі багатокомпонентної плодово-ягідної пасти з яблук, айви, чорної смородини. Встановлено раціональну кількість додавання плодово-ягідної пасти — 30%, при зменшенні агару на 30%, що забезпечує високі показники якості виробів і збагачує їх низкою функціональних інгредієнтів. Запропоновано використання цієї ж пасти в технології вершково-збивних цукерок, що вирішує завдання поліпшення структурних характеристик і фізіологічної цінності (збагачення харчовими волокнами, вітаміном С, поліфенолами, органічними кислотами). Рекомендованим є додавання пасти в кількості 15% від загальної кількості рецептурної сировини і зменшення дозування агару на 40% за її внесення. Недоліком проведених досліджень є застосування паст у невеликій кількості від загального вмісту сировини, що не може забезпечити суттєве збагачення виробів функціональними інгредієнтами. Перспективною є розробка технологій кондитерських виробів на основі плодово-ягідної сировини.

Підсумовуючи, варто зазначити, що, незважаючи на значний асортимент запропонованих рішень, проблема отримання здорових і натуральних кондитерських виробів на основі плодово-ягідної сировини залишається остаточно не вирішеною. Використання плодово-ягідної сировини та продуктів її переробки в технологіях виробництва мармеладних виробів є перспективним напрямком корекції харчової цінності та споживчих властивостей, тому особливий інтерес представляє локальна сировина у вигляді полікомпонентної суміші, яка є джерелом корисних, біологічно активних харчових компонентів, а також натуральним барвником і ароматизатором.

Мета дослідження: удосконалення процесу виробництва пату фруктового шляхом внесення в його рецептуру розробленої пасти з плодів та ягід.

Матеріали і методи. Об'єктом дослідження є спосіб виготовлення пату фруктового на основі пасти з яблук, абрикос та шипшини.

Контрольним зразком було обрано пат «Фруктовий». Це особливий вид мар-

меладу, який виготовляють із застосуванням абрикосового пюре шляхом формування відливанням мармеладної маси у форми у вигляді напівкулі, поверхня яких оздоблена цукром білим. Для виготовлення пату використовували такий рецептурний склад, г: цукор білий на обсипання — 173; цукор білий у драглі — 689,7; яблучне пюре — 343,7; абрикосове пюре — 171,8; кислота лимона — 2; есенція — 0,9; барвник — 0,2. Вихід 1000 г.

Процес виготовлення пату складається з приготування рецептурної суміші, уварювання мармеладної маси у відкритих варильних котлах за температури 110...115 °С (сухі речовини 85±2%, редукуючі речовини 18±1%), відливання пату у форми з цукру-піску, структуроутворення пату (температура 10±2%, 30...40 хв) та пакування. Показники якості розробленого пату оцінювали згідно з ДСТУ 4333:2018 Мармелад. Загальні технічні умови.

Під час створення пасти обрано ретельно підібрана сировина: яблуко (сорт Антонівка), абрикос (сорт Червонощокий), шипшина (сорт Ювілейний).

Структурно-механічні показники зразків пюре, пасти та мармеладної маси визначали на ротаційному віскозиметрі «Реотест-2» (Німеччина).

Викладення основних матеріалів дослідження. Плоди шипшини попередньою витримують у 8...10% розчині NaCl з додаванням 1,0% лимонної кислоти за температури 22...24 °С протягом 32...35 хв, що сприяє відділенню механічних домішок, стабілізування поліфенолів та інактивації ферментів. Пропущене крізь дробарку яблуко бланшують 3...4 хв парою за температури 100...105 °С. Шипшину та абрикос також піддають бланшуванню парою протягом 5 хв та 3 хв відповідно. За бланшуванням проводили поетапне протирання сировини в ситах діаметром 0,3...0,5 мм. Пюре сировини з'єднували в рецептурному співвідношенні: яблуко — 50%; абрикос — 40%; шипшина — 10%. Суміш пюре з яблук, абрикос і шипшини концертували до 30% сухих речовин у спеціальній конструкції роторного типу за щадної температури 52...54 °С.

Важливим етапом виготовлення плодово-ягідної пасти є її концентрування в щадних умовах. Для цього рекомендовано використовувати роторний випарник (рис. 1), який характеризується мінімізацією теплового впливу на сировину.

Під час концентрування продукт обробляється за 30...40 с під примусовим впливом робочих органів апарата в тонкому шарі. З огляду на реальний стан ведення процесу уварювання визначаємо структурно-механічні показники продукту при зміненні температури від 20...70 °С та швидкості зсувної деформації на рівні 3 $с^{-1}$ (рис. 2).

В'язкість усіх дослідних зразків пюре та пасти зменшується при підвищені температури. При температурі 20 °С уварена паста до вмісту СР 30% має в'язкість 178 Па·с, що в 3,2 раза більше, ніж у пюре СР 17% (56 Па·с). Для вимірювальних меж температури 20...70 °С в'язкість пасти зменшується практично в 15 разів. Тобто змінення температури суттєво змінює структурно-механічні показники дослідних зразків. З представлених на рис. 2 залежностей встановлено, що за режимних параметрів уварювання пюре від 17% СР до 30% при температурі 58...63 °С ефективна в'язкість змінюється в межах 8...25 Па с (зсувне зусилля 3 $с^{-1}$).

Проведено дослідження вмісту функціональних інгредієнтів розробленої пасти відповідно до контролю (табл. 1).

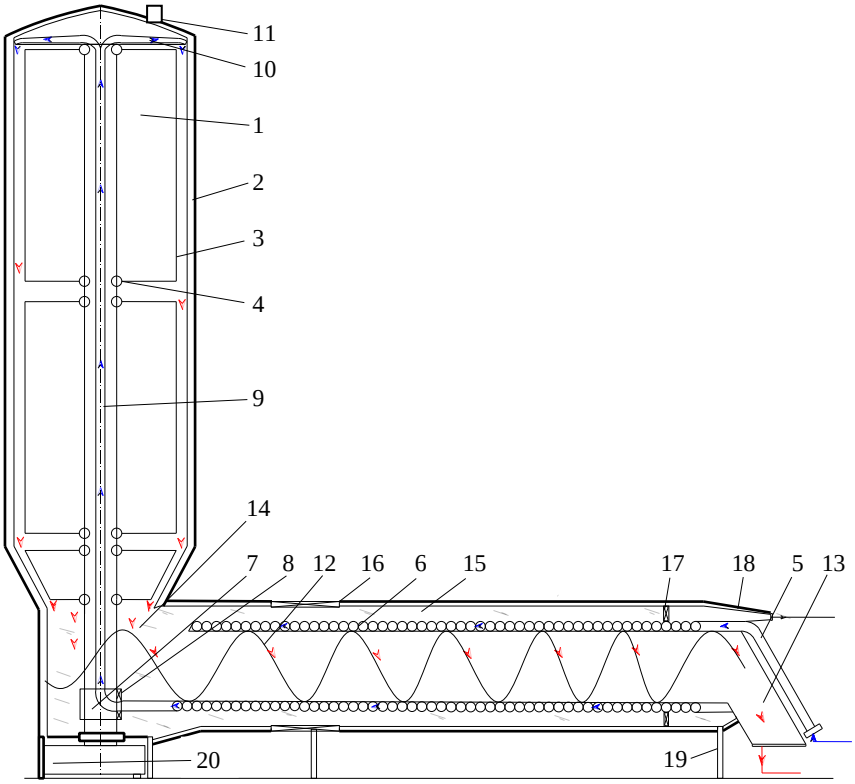


Рис. 1. Схема вдосконаленої модельної конструкції роторно-плівкового випарника з нижнім розташуванням сепоруючого простору, шнековим вивантаженням концентрованої органічної плодово-ягідної пасти та попереднім підігріванням органічного пюре вторинною парою: 1 — вертикальна робоча камера; 2 — гнучкий плівковий резистивний електронагрівач випромінювального типу з теплоізолюючою зовнішньою поверхнею (ГПРЕнВТ); 3 — патрубок нагнітання органічного плодово-ягідного пюре; 4 — горизонтальна робоча камера (теплообмінник труба в трубі); 5 — змієвиковий теплообмінник; 6 — пристрій надходження пюре (порожниста муфта); 7 — гумові ущільнювачі; 8 — вертикальний трубопровод; 9 — ротор з шарнірними фіксаторами; 10 — зрізуючи лопаті; 11 — конусоподібна розподілююча насадка; 12 — контрольно-запобіжна арматура; 13 — сепаруючий простір; 14 — шнек відведення концентрату (паста); 15 — патрубок відведення концентрату; 16 — елементи Пельтьє; 17 — витяжні вентиляторі; 18 — патрубок відведення вторинного повітря; 19 — стійки; 20 — апаратурне відділення з блок керування технологічними параметрами

Отримані дані (табл. 1) підтверджують, що розроблена паста з яблук, абрикос і шипшини, порівняно з контролем, володіє значно більшим вмістом харчових волокон — у 6 разів. За вмістом вітаміну С розроблена паста повністю задовольняє добову потребу в цій речовині. Крім того, характеризується наявністю значної кількості вітаміну А, каротину та вітаміну Е. Мінеральні речовини розробленої пасти представлено калієм, кальцієм, залізом, міддю та марганцем. Наведений хімічний склад підтверджує, що розроблена плодово-ягідна паста з яблук, абрикос і шипшини містить значну кількість функціональних інгредієнтів, що дає змогу

рекомендувати її як сировину в технології здорового та натурального пату.

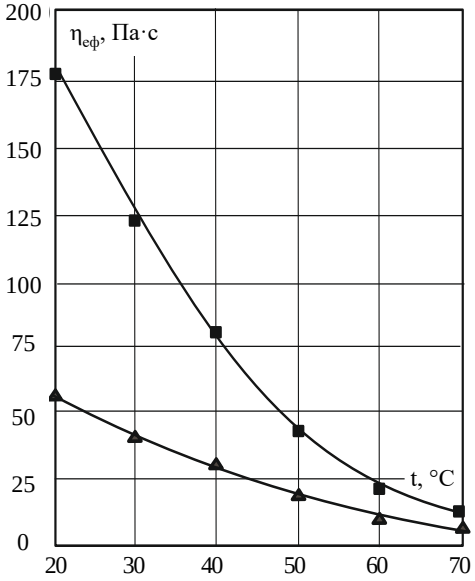


Рис. 2. Залежності в'язкості пюре та пасти від температури при швидкості зсувної деформації 3 с$^{-1}$: ■ — 17% сухих речовин; ▲ — 30% сухих речовин

Таблиця 1. **Хімічний склад і показники якості паст** (на 100 г продукту, σ=3%, n=5)

Показник	Одиниця виміру	Добова потреба	Контроль: яблучна паста	Дослідний зразок: паста з яблук, абрикос, шипшини
Сухих речовин	%	—	30,00	30,00
Харчові волокна	г	20	1,10	6,51
Вітамін А, РЕ	мкг	900	0,00	253,68
β-каротин	мг	5	0,00	1,52
Вітамін B_5	мг	5	0,00	0,44
Вітамін С	мг	90	1,60	172,8
Вітамін Е	мг	15	0,20	1,77
Вітамін К	мкг	120	0,00	8,06
Калій	мг	2500	124,00	306,40
Кальцій	мг	1000	0,00	44,00
Залізо	мг	18	1,30	0,72
Марганець	мг	2	0,00	0,46
Мідь	мг	1000	0,00	131,92
Активна кислотність pH	—	0,00	3,15	3,20

Процес виготовлення пату за удосконаленим способом складається з приготування рецептурної суміші та концентрування у вакуум-випарному апараті за температури 65...70 °С (сухі речовини 85±2%, редукуючі речовини 18±1%), відливання пату у форми з цукру-піску, структуроутворення пату (температура 10±2%,

30...40 хв) та пакування. В дослідному зразку замінюємо вміст пюре на розроблену пасту, що зменшить витрати теплоти на уварювання пату та спростить технологічні операції під час зберігання й підготовки сировини до виробництва. Також з рецептури виключено застосування барвнику та есенції. Застосування щадного режиму уварювання пату у вакуум-випарному апараті удосконаленої конструкції (Zahorulko та ін., 2018) (65...70 °С) дає змогу отримати продукт підвищеної якості.

Встановлено структурно-механічні показники запропонованого дослідного зразка порівняно з контролем пат «Фруктовий» (рис. 3). Враховуючи той факт, що температура суттєво впливає на плинність термолабільних желейних мас для вивчення в'язкісних властивостей обрано температурні режими відповідно до технологічних параметрів пату вище за його гелеутворення на рівні 50...52 °С. Незруйнована структура дослідного зразка має значення в'язкості 225 Па·с, що на 20% вище порівняно з контролем — 189 Па·с. Це пояснюється більшим вмістом пектинових речовин у дослідному зразку пату за рахунок використання розробленої пасти з яблук, абрикосу та шипшини. Характер отриманих кривих течії свідчить про псевдопластичність досліджуваних зразків, їх ефективна в'язкість є властивістю рівноважного стану між процесом руйнування та відновлення. Показники в'язкості обох зразків мають високий рівень структурування в межах малих напруг зсуву 0,3...5 $с^{-1}$. При збільшенні швидкості зсуву відбувається руйнування структури зразків, їх частки починають орієнтуватися в напрямку прикладеної швидкості зсуву, спостерігається перехід від стадії течії до руйнування — 5...27 $с^{-1}$. Надалі збільшення швидкості зсуву суттєво не змінює мінімальне значення в'язкості, що характерно для зруйнованої структури.

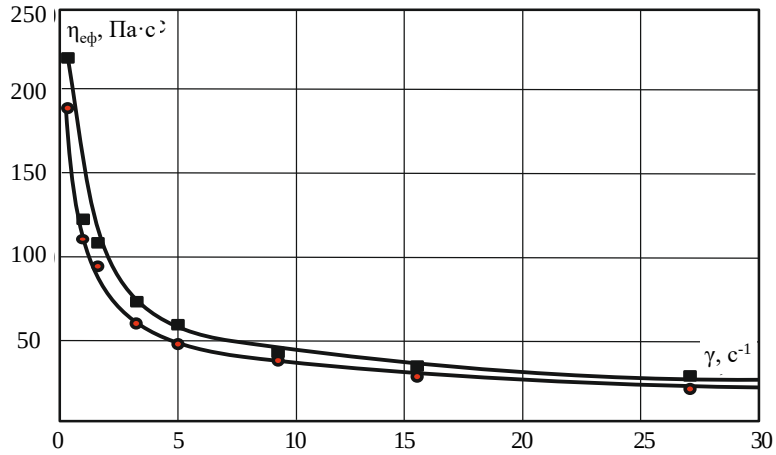


Рис. 3. Структурно-механічна характеристика фруктового пату при температурі 50 °С: ● — пат «Фруктовий»; ■ — дослідний пат

Зважаючи на оригінальні смакові та кольорові характеристики плодово-ягідної пасти та на результати пробних лабораторних приготувань пату, запропоновано виключення з рецептури барвника та есенції за умов внесення нової сировини.

Визначали органолептичні та фізико-хімічні показники пату на основі пасти та контрольного зразка (табл. 2).

Таблиця 2. **Органолептичні, фізико-хімічні показники якості пату фруктового та на основі плодово-ягідної пасти** (σ=3%, n=5)

Показник	Характеристика показників	
	пат «Фруктовий» (контроль зразок)	пат на основі плодово-ягідної пасти
Смак і запах	Властиві цьому виробу з лимонним ароматом есенції	Приємний гармонійний смак і запах абрикосу та шипшини
Колір	Жовтий	Помаранчевий
Консистенція	Щільна, не затяжна	Щільна, затяжна
Форма	Правильна, напівкуля, без деформації	
Поверхня	Чітка, обсипана цукром білим	
Масова частка вологи, %	13,0	13,0
Титрована кислотність, град	10,5	10,8
Масова частка редукуючих речовин, %	18,0	18,5
Міцність за граничною напругою зсуву, кПа	21,0	26,1

Контрольний зразок пату «Фруктового», як і отриманого за удосконаленою технологією, за органолептичними показниками якості відповідає вимогам нормативного документа. При цьому варто відзначити, що дослідний зразок з пастою має кращі показники смаку та запаху, які можливо охарактеризувати як натуральні та гармонійні. Новий пат має природний помаранчевий насичений колір і характеризується затяжною консистенцією за рахунок збільшенням вмісту пектинових речовин у плодово-ягідній пасті, що сприятиме кращому структуроутворенню виробів.

Це було підтверджено утриманими результатами щодо визначення показнику міцності, який на 24,2% вищий, ніж у контрольного зразка пату. Фізико-хімічні показники якості пату на основі плодово-ягідної пасти несуттєво відрізняються від контрольного зразка та відповідають усім вимогам ДСТУ на цю продукцію.

Важливим показником якості розробленого пату є характеристика його хімічного складу, тому розраховували вміст основних функціональних інгредієнтів у паті фруктовому та основі плодово-ягідної пасти. Результати наведені в табл. 3.

Таблиця 3. **Вміст функціональних інгредієнтів у дослідних зразках пату** (на 100 г продукту, σ=3%, n=5)

Показник	Одиниця виміру	Пат «Фруктовий» (контрольний зразок)	Пат на основі плодово-ягідної пасти
Харчові волокна	г	0,48	3,39
Вітамін А, РЕ	мкг	85,90	131,92
β-каротин	мг	0,52	0,79
Вітамін B_5	мг	—	0,23
Вітамін С	мг	1,41	155,52
Вітамін Е	мг	0,07	0,92
Калій	мг	91,24	159,33
Залізо	мг	0,69	0,38
Мідь	мг	22,33	68,60

Як видно з табл. 3, пат на основі плодово-ягідної пасти за вмістом функціональних інгредієнтів значно перевершує контрольний зразок: зокрема за вмістом харчових волокон, вітамінів А, B_5, С, Е та β-каротину, а також мінеральних речовин. Відомо, що для того, щоб продукція мала статус функціональної, її вміст у продукті повинен становити від 10...50% від добової потреби у відповідній речовині, тому розраховували забезпечення добової потреби у функціональних інгредієнтах за умов споживання 100 г пату на основі пасти (табл. 4).

Таблиця 4. **Забезпечення добової потреби у функціональних інгредієнтах за умови споживання 100 г пату на основі плодово-ягідної пасти** (σ=3%, n=5)

Показник	Одиниця виміру	Добова потреба	Забезпечення добової потреби, %
Харчові волокна	г	20	16,95
Вітамін А, РЕ	мкг	900	14,66
β-каротин	мг	5	15,80
Вітамін B_5	мг	5	4,50
Вітамін С	мг	90	172,80
Вітамін Е	мг	15	6,13
Калій	мг	2500	6,37
Залізо	мг	18	2,11
Мідь	мг	1000	6,86

Тож за вмістом харчових волокон, вітаміну А, С, β-каротину розроблений пат на основі пасти можна віднести до функціональних продуктів. Варто підкреслити при цьому ще й наявну в ньому низку корисних речовин (мінеральних, фенольних), відсутність штучних добавок, оригінальні сенсорні властивості та високі показники якості. Все перелічене вище свідчить про конкурентоспроможність цих корисних солодощів, а також перспективність запровадження у межах крафтових виробництв через спрощення технологій їх виробництва.

Висновки

Розроблено спосіб виробництва плодово-ягідної пасти на основі: яблуко — 50%; абрикос — 35%; шипшина — 15%. Запропонований зразок пасти має покращену в'язку структуру порівняно з яблучною пастою, що дає змогу рекомендувати її для використання в технології пату фруктового.

Спосіб виробництва пату за удосконаленою технологією відрізняється підвищеними показниками якості за рахунок застосування щадних режимів концентрування у вакуум-випарному апараті та використання розробленої пасти. В'язкість маси пату на основі пасти з яблук, абрикосу та шипшини за умов температури 50 °С становить 225 Па·с, що на 20% більше за пат фруктовий (контрольний зразок), це сприяє кращому структуроутворенню. При цьому зразок з пастою має кращі показники смаку та запаху, які можливо охарактеризувати як натуральні та гармонійні. Новий пат має природний помаранчевий насичений колір та характеризується затяжною консистенцією, а за вмістом функціональних інгредієнтів значно перевершує контрольний зразок.

Література

Черевко, О. І., Михайлов, В. М., Кіптела, Л. В., Захаренко, В. О., Загорулько, О. Є. (2015). *Процеси виробництва багатокомпонентних паст із органічної сировини*: монографія. Харків: ХДУХТ. Взято з: https://elibrary.nuft.edu.ua/library/DocDescription?doc_id=309326.

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. Взято з: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npnukht_2019_25_5_19.

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

Charis M. Galanakis, Myrto Rizou, Turki M. S. Aldawoud, Ilknur Ucak, Neil J. Rowan. (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. Взято з: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224421001035.

Fil, M. I., Mikhailyuk, O. J. (2017). Innovative approach technologies fruit marmalade. *Scientific Messenger LNUVMBT named after S.Z. Gzhytskyj*, 19(75), 55—58. https://doi.org/10.15421/nvlvet7511.

Samokhvalova, O., Kasabova, K., Shmatchenko, N., Zagorulko, A., & Zahorulko, A. (2021). Improving the marmalade technology by adding a multicomponent fruit-and-berry paste. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(11(114)), 6—14. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.245986.

Zahorulko, A., Zagorulko, A., Fedak, N., Sabadash, S., Kazakov, D., & Kolodnenko, V. (2019). Probation of the improved vacuum-evaporative apparatus for producing concentrated fruit-berry semi-products. *EUREKA: Life Sciences*, 6, 29—36. https://doi.org/10.21303/2504-5695.2019.001064.

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/.

Chomanov, U., Idayatova, M. (2023). Obtaining marmalade using melon crops. *The Journal of Almaty Technological University*, 2, 140—146. https://doi.org/10.48184/2304-568x-2023-2-140-146.

Gunes, R., Palabiyik, I., Konar, N., Toker, O. S. (2022). Soft confectionery products: Quality parameters, interactions with processing and ingredients. *Food Chemistry*, 385, 132735. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132735.

Munekata, P. E. S., Pérez-Álvarez, J. Á., Pateiro, M., Viuda-Matos, M., Fernández-López, J., Lorenzo, J. M. (2021). Satiety from healthier and functional food. *Trends in Food Science & Technology*, 113, 397—410. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.025. Взято з: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224421003472.

Alekseenko, E. V., Chernykh, V. Y., Bakumenko, O. E. (2021). Shaped jelly marmalade with cranberry concentrate. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 640 (5), 052007. https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/5/052007.

Arlan Caldas Pereira Silveira. (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.

Najmi, A., Holinesti, R., Mustika, S. (2023). The Effect Of Adding Pectin On The Quality Of Tamarillo Marmalade. *Jurnal Pendidikan Tata Boga dan Teknologi*, 5(1). https://doi.org/10.24036/jptbt.v5i1.12918.

Pathania, S., Kaur, N. (2022). Utilization of fruits and vegetable by-products for isolation of dietary fibres and its potential application as functional ingredients. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 27, 100295. https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2021.100295.

УДК 665.325.1:634.25.26:543.927:67.02

SENSORY CHARACTERISTICS OF FAT-AND-OIL PRODUCTS OBTAINED FROM DIFFERENT PEACH CULTIVARS

Ye. Kotliar, B. Iegorov,
Odesa National University of Technology, Odesa
I. Levchuk
Head of the research and development center for product testing, DP Ukrmetrteststandart, Kyiv

Key words:
Peach kernels
Sensory characteristics
Extra virgin
Fat-and-oil product
Peach-kernel oil
Peach-kernel oilcake

Article history:
Received 04.11.2024
Received in revised form 15.11.2024
Accepted 27.11.2024

Corresponding author:
Ye. Kotliar
E-mail:
yevhenii11@ukr.net

Citation: Котляр Є. О., Єгоров Б. В., Левчук І. В. (2024). Сенсорні характеристики олійно-жирової продукції, отриманої з різних сортів персиків. *Наукові праці НУХТ*, 30(6), 110—122.
DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-6-11

ABSTRACT

The peach cultivars were analysed as a source of kernels, raw materials for fat-and-oil products. It was found promising to study the kernels from such peach cultivars as Cardinal, Nectarine, Flamingo, Moldavsky, and their blend (25% of each variety) grown in Ukraine and Moldova and harvested in 2020, 2021 and 2022. These cultivars are the ones widely used in the food canning industry. The fat-and-oil products obtained from the above samples (oil and oilcake) have undergone sensory analysis.

The sensory evaluation results for the oils from various peach cultivars were as follows: for those harvested in 2020, the highest sensory score was for Cardinal (5.0) and Moldavsky (5.0), the lowest — for their blends (4.7). For those harvested in 2021, the highest sensory score was for Moldavsky and Nectarine (5.0), the lowest — for Cardinal (all parameters 4.7, clarity 4.8). For those harvested in 2022, the highest sensory score was for Moldavsky (5.0), the lowest — for the blends (all parameters 4.5).

The sensory evaluation results for the oilcake from peach kernels were as follows. For the kernels of peaches harvested in 2020, the highest sensory score was for Moldavsky (5.0), the lowest — for blends (4.5). For those harvested in 2021, the highest sensory score was for Moldavsky and Nectarine (5.0), the lowest — for Flamingo (all parameters 4.9). For those harvested in 2022, Moldavsky and Nectarine were graded the highest (5.0), and the blends – the lowest (all parameters 4.6).

It is worth pointing out that the results for all fat-and-oil products (oilcake and oil) from kernels of different peach cultivars harvested in 2020—2022 were almost equally excellent by a complex of sensory parameters. However, those for Moldavsky and Cardinal were the highest.

DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-6-11

СЕНСОРНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОЛІЙНО-ЖИРОВОЇ ПРОДУКЦІЇ, ОТРИМАНОЇ З РІЗНИХ СОРТІВ ПЕРСИКІВ

Є. О. Котляр, Б. В. Єгоров,
Одеський національний технологічний університет, м. Одеса
І. В. Левчук
Науково-дослідний центр випробувань продукції, ДП «Укрметртестстандарт», м. Київ

У статті проаналізовано сорти персиків як джерело сировини для отримання олійно-жирової продукції з їх ядер за технологією Extra Virgin. Встановлено, що перспективними є дослідження ядер персиків, які отримані з вирощених персиків в Україні та Молдові, врожаїв 2020, 2021 та 2022 років, зокрема сортів Кардинал, Нектарин, Фламінго, Молдавський та їх суміш (у співвідношенні по 25%). Ці сорти масово застосовують у консервній промисловості. З наведених зразків отримано олійно-жирову продукцію: олію та макуху, які було піддано сенсорному дослідженню.

Результати сенсорної оцінки олій з ядер різних сортів персиків: найкращу сенсорну оцінку отримали: сорт Кардинал — 5,0, сорт Молдавський — 5,0, найгіршу їх суміш — 4,7 врожаю 2020 р.; врожаю 2021 р. найкращу сенсорну оцінку отримали сорти Молдавський і Нектарин — 5,0, найгіршу оцінку отримав сорт Кардинал, усі показники — 4,7, прозорість — 4,8; врожаю 2022 р. найкращу сенсорну оцінку отримали сорти Молдавський і Нектарин — 5,0, найгіршу оцінку отримала суміш, усі показники — 4,5.

Результати сенсорної оцінки макухи з ядер персиків: 2020 р. врожаю найкращу сенсорну оцінку отримав сорт Молдавський — 5,0, найгіршу оцінку отримала їх суміш — 4,5; 2021 р. врожаю найкращу сенсорну оцінку отримали сорти Молдавський і Фламінго — 5,0, найгіршу оцінку отримав сорт Нектарин, усі показники — 4,9; 2022 р. врожаю найкращу сенсорну оцінку отримав сорт Молдавський — 5,0, найгіршу оцінку отримала суміш, усі показники — 4,6.

Варто зазначити, що отримана олійно-жирова продукція з ядер різних сортів персиків 2020—2022 р. врожаїв — макуха та олія, за сукупністю показників мають майже однакові відмінні результати, але найвищі були у сортів Молдавський і Кардинал.

Ключові слова: *персикові ядра, сенсорні характеристики, Extra Virgin, олійно-жирова продукція, олія з ядер персиків, макуха з ядер персиків.*

Постановка проблеми. Компонентний склад персикової олії обумовлює благотворні властивості олії з ядер персикових кісточок. Серед корисних речовин можна виділити: вітаміни A, P, E, C, D і групи B, зокрема й рідкісний вітамін B_{15}; каротиноїди; токофероли; пектини; фосфоліпіди; мікроелементи: калій, кальцій, фосфор, йод, магній, цинк і залізо; поліненасичені жирні кислоти: олеїнова, лінолева, гамма-ліноленова, пальмітинова, пальмітолеїнова, стеаринова, арахінова; органічні кислоти: яблучна, хінна, винна, лимонна; ферменти; ди- і моносахариди; жири і білки. У незначних кількостях в олії міститься ряд біологічно активних

речовин, але основні корисні властивості продукту обумовлені саме його жирнокислотним складом. Жирнокислотний склад олії з ядер персикових кісточок наведено в табл. 1 (Londoño, Alberto, Carlos, & Hernández, 2012).

Таблиця 1. **Жирнокислотний склад олії з ядер персикових кісточок**

Вміст основних жирних кислот в олії з ядер персикових кісточок	Число атомів вуглецю	%
Олеїнова	C(18:1)	73,3—85
Лінолева	C(18:2)	5,0—16,4
Стеаринова	C(18:0)	10—15
Пальмітинова	C(16:0)	3
Міристинова	C(14:0)	1

При одержанні олійно-жирової продукції з різних сортів персиків за технологією Extra Virgin важливо проаналізувати сорти персиків як джерело сировини для отримання олійно-жирової продукції з їх ядер. Перспективними є дослідження ядра персиків, які отримані з вирощених в Україні та Молдові персиків сучасної селекції (Кардинал, Нектарин, Фламінго, Молдавський та їх сумішей) різних років врожаїв, адже виробники дедалі частіше стикаються з різними показниками сенсорної оцінки олійно-жирової продукції, надзвичайно важливо при встановленні певного ґатунку для олії. Варто зазначити, що ці сорти масово застосовують у консервній та плодосушильних промисловостях і після їх переробки передають одержані кісточки на олійно-пресові заводи. Тому сенсорне дослідження одержаної олійно-жирової продукції (олії та макухи) є актуальним. На жаль, сенсорні дослідження макухи відсутні взагалі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Олію з ядер кісточок персика за приблизними підрахунками почали виробляти близько двох тисяч років тому. Людство знайшло її застосування в різних проявах як офіційної, так і нетрадиційної медицини (Asociacija «Ukrsadprom», 2018).

Латинська назва олії з ядер персикових кісточок, яка підтверджена сертифікатами, може маркуватися як: prunus persica, peach kernel oil, oleum persicorum.

Щоб отримати найціннішу ефірну олію беруться тільки дозрілі плоди, точніше ядра їх кісточок. Оскільки шкаралупа кісточки досить міцна, то процес вилучення ядра трудомісткий. Після звільнення ядра піддаються механічному пресуванню методом холодного віджиму і подальшої багатоступінчастої фільтрації олії, що прибирає рослинні залишки і зайві речовини з її складу. Така олія переважно використовується в косметичній промисловості. Найчастіше виробничий процес включає в себе додаткові послідовні стадії гідратації, нейтралізації і відбілювання, тому в роздрібному продажі, як правило, можна знайти вже адаптований під покупця (очищений) продукт. Він блідого кольору з характерним слабо вираженим запахом і ніжним смаком (Asociacija «Ukrsadprom», 2018).

Фруктові кісточки (абрикосові, аличеві, вишневі, персикові та ін.) отримують як відходи на плодоконсервних і плодосушильних підприємствах (Koyu, Kazan, & Yesil-Celiktas, 2020).

Однією з особливостей кісточкової сировини є те, що партії фруктових кісточок надходять на олійні заводи, як правило, у вигляді суміші кісточок різних видів

(слива, алича, абрикос). У більшості випадків це партії, які різко відрізняються одна від одної за якістю, адже способи виділення кісточок при переробці плодів різні. Так, кісточки, що залишаються від сульфітування, або ж варені, містять олію з підвищеним кислотним числом (до 20 мг КОН), що пояснюється посиленням гідролітичних процесів як при виділенні кісточок з м'якоті плоду, так і при подальшому тимчасовому складуванні та транспортуванні на олійні заводи. «Здорові» ядра кісточок містять олію з низькою кислотністю (Wu, 2011).

Для отримання низькокислотних олій необхідно зберігати і переробляти здорові кісточки окремими партіями, не допускаючи їх змішування з сульфітованими кісточками. Крім неоднорідності за якістю, різні кісточки (слив, абрикос тощо) різко відрізняються за розмірами, твердістю кісточкової шкаралупи, вміст олії в них становить усього лише 0,3—0,5% (Zhao, 2007).

Переробка кісточок (тобто фактичного ядра) дає високі виходи олії, збільшує продуктивність основного обладнання, знижує його знос і дає змогу найбільш раціонально використовувати в промисловості як знежирені макухи, так і шкаралупу.

Плід-кістянка складається з шкірки, товстої м'якоті і кісточки. Вихід кісточки з плодів — до 7,7%. Ядро складає 20—33% від маси кісточки. Ядро персика може бути гірке і солодке. У гіркому міститься до 8,8% амігдалину. Основною складовою частиною олії з ядер персикових кісточок є триолеїн. Олія знаходить застосування у фармакопеї, парфумерії та харчовій промисловості (Eduardo, 2010).

Ядро персикової кісточки містить: вітамін А, мінерали, білки — 14,0%, жири — 37%, жирні кислоти: Palmitic — 3—7%, Palmitoliec — 1% макс., Stearic — 2% макс., Oleic — 55—65%, Linoleic — 25—35%, Linolenic — 1% макс., вуглеводи — 56,3%.

Персик (ботанічна назва роду *Persica Mill*) дає вихід кісточки з плодів 8—14%. Кісточка персика дуже тверда і складається з товстостінної шкаралупи, ядра і плівки, яка його покриває. Ядро складає всього 10—15% від маси кісточки. Вміст олії в ядрі — 35—46% (Djeridane, 2006).

У світовій колекції нараховується близько 5000 сортів персика, які відрізняються один від одного за комплексом ознак і відносяться до різних груп. З них в Україні районовано 34 сорти (на 2000 р.) (Abdulkarim, 2007).

За виробничою класифікацією, яка базується на деяких ознаках плодів, сорти персику поділяються на такі групи:

а) справжні персики (столові сорти) — плоди опушені, м'якуш ніжний, волокнистий і соковитий. Іноді з цієї групи виділяють сорти, у яких кісточка не відокремлюється — тип павії;

б) клінги (консервні сорти) — плоди опушені, м'якуш хрящуватий (щільно злитий), кісточка не відокремлюється;

в) нектарини — не опушені персики. Сорти, у яких кісточка не відокремлюється, називаються бруньонами;

г) пін-ту (інжирні персики) — плоди сплющені.

За кольором м'якушу плоди персика бувають двох типів: з білим або жовтим м'якушем.

За розміром плоди поділяються на такі групи: дрібні — середня маса 50—70 г, нижче середнього — 71—90 г, середні — 91—130 г, вище середнього — 131—160 г,

великі — 161—200 г, дуже великі — 200 г (Londoño, Alberto, Carlos, & Hernández, 2012).

Колір олії з ядер персикових кісточок — ніжний, майже невловимий світло-жовтий, такий же м'який, як і його смак (Matthäus, & Brühl, 2001). Смакові характеристики тонкі, з майже непомітними обертонами персикових кісточок, з явною вишуканою цілісністю і яскраво вираженою ніжною м'якістю.

Аромат цілком характерний для всіх олій з плодів кісточкових дерев: злегка нагадує про самі персики, але майже невловимий, він ніжний і м'який, прекрасно розкриває і характер впливу олії (Khajeamiri, 2012).

У побутовій сфері олія з ядер персикових кісточок — одна з кращих основ для складання лікувальних мазей і натирань, для лікарських форм і засобів з дерматологічних проблем (Guo, Huang, & Pallua, 2011). Застосовують таку олію і в кулінарії, в холодних закусках і салатах як вишукану олію для заправки, зазвичай при комбінації з елітними сортами сиру, незвичайними смаковими поєднаннями, для ласощів з фруктами або делікатесами.

У персикових кісточках виражені протиблювотний, жовчогінний і сечогінний, проносний ефекти (Pastore, 2011).

Олія з ядер персикових кісточок застосовується при лікуванні застуди, сечокам'яної хвороби, серцево-судинних захворювань і анемії, адже вона стимулює підвищення рівня гемоглобіну та його синтез, а вітамінний склад дає змогу використовувати її як потужний антиоксидант, вона нормалізує обмін речовин (Wu, 2011). Застосовують її і як пом'якшувач і регенератор при опіках, дерматитах і екземі.

Олія з ядер персикових кісточок — прекрасний адаптоген, який дає змогу шкірі пристосуватися до зміни кліматичних умов і коливань раціону, характеристик води і вологості повітря (Londoño, Alberto, & Carlos, 2012).

Давно помічено позитивний вплив при прийомі олії з ядер персикових кісточок всередину:

- покращує роботу шлунково-кишкового тракту і підшлункової залози;
- нормалізує процес виведення шлаків і токсинів;
- зміцнює серцево-судинну систему;
- знижує ризик розвитку серцевих хвороб і сприяє нормалізації артеріального тиску;
- корисна при анемії, тому що сприяє підвищенню заліза у крові і виробленню гемоглобіну;
- поповнює нестачу вітамінів і мікроелементів в організмі;
- володіє хорошою антиоксидантною дією і суттєво уповільнює процеси старіння на клітинному рівні;
- допомагає скоротити тривалість і частоту вірусних і простудних захворювань;
- зміцнює імунітет;
- ефективна при лікуванні хвороб сечостатевої системи;
- допомагає впоратися із захворюваннями печінки, жовчного міхура;
- надає відчутний ефект при подагрі, ревматизмі, радикуліті;
- нормалізує апетит і сон;
- знімає стрес і підвищену дратівливість;
- сприяє лікуванню хронічних вушних і очних хвороб.

Багатий склад жирних і органічних кислот, здатних надавати омолоджувальну, відновлювальну і пом'якшувальну дію, широко використовується в косметології і дерматології. При нанесенні на шкіру олія з ядер персикових кісточок миттєво надає відчуття бархатистості і ніжності. Вона швидко і рівномірно розподіляється, довго залишається на шкірі своєрідним пом'якшувальним шлейфом, який надає відчуття захисної м'якої плівки, але без видимих зовнішніх ефектів на кшталт жирного блиску. При нанесенні на шкіру миттєво пом'якшує, розгладжує, дарує відчуття легкості, знімає запалення і відчуття стягненості. Це одна з кращих основних олій для масажу за якістю розподілу (Котляр, Ткаченко, Вікуль, & Левчук, 2020).

Косметична олія з ядер персикових кісточок застосовується для волосся, шкіри обличчя та нігтів, часто виступаючи як основа для кремів і масок. Маючи високу гіпоалергенність, олія підходить людям з надзвичайно чутливою і схильною до подразнення шкірою. Вона ідеальна для зняття больового синдрому, лікування ран, порізів, опіків і багатьох шкірних хвороб. Також її капають у ніс. На основі екстракту персикових кісточок варять деякі сорти мила (Yiğit, Yiğit, & Mavi, 2009).

Найбільш виражені в олії з ядер персикових кісточок комплексні косметичні властивості. Це одна з найлегших, але при цьому надефективних олій для щоденного догляду, застосування якої є запорукою естетичного вигляду і здоров'я шкіри.

Олія з ядер персикових кісточок вважається однією з головних баз для щоденного застосування. Ця база насамперед для нормальної шкіри — підтримує її стан, що надає гарне і здорове забарвлення, розкішну текстуру, але не в меншій мірі олія підходить і для постійного догляду за проблемними типами шкіри — комбінованою, схильною до висипань, сухою, жирною (Yilmaz, & Carotenoids, 2010).

Загальне поліпшення текстури та кольору аж ніяк не вичерпує сфери впливу олії з ядер персикових кісточок. Ця олія також тонізує, освітлює, м'яко знімає запалення, живить і зволожує шкіру, чинить загальну омолоджувальну дію, але при цьому основна перевага олії з ядер персикових кісточок — комплексність і системність впливу на стан епідермісу. Швидко і глибоко проникаючи в клітини, стимулюючи оновлення і регенерацію, вона сприяє якісному налагодженню місцевого обміну речовин, кровопостачання і дихання (Котляр, Ткаченко, Вікуль, & Левчук, 2020).

Заслужила олія з ядер персикових кісточок і звання однієї з найбільш поширених базових олій для аромотерапевтичних цілей. У цій олії практично відсутня гіркість, завдяки чому вона — ідеальний вибір для збагачення косметичних кремів, для приготування мазей, основ для шампунів, масажної і косметичної олії, бальзамів, лосьйонів, масок (Котляр, Ткаченко, Вікуль, & Левчук, 2020).

Олія з ядер персикових кісточок прекрасно підходить для регулярної турботи про ламке і сухе волосся, адже вона сприяє якісній регенерації структури волосся і відновленню його здорового блиску, запобігає ламкості і розшаруванню нігтьові пластини (Котляр, Ткаченко, Вікуль, & Левчук, 2020).

Застосування олії в дієтах і для схуднення засноване на її здатності до нормалізації роботи шлунково-кишкового тракту, легкій послаблюючій дії і виведенні токсинів. Сам по собі продукт досить калорійний — 900 ккал/100 г. До того ж олія

більш ефективна при зовнішньому впливі — антицелюлітному масажі, лікувальних обгортаннях і розтиранні.

Олія з ядер персикових кісточок можна приймати як зранку натщесерце, так і для заправки салатів і легких овочевих страв, створення соусів. Смажити і готувати на ній не рекомендується, тому що термічна обробка руйнує всі корисні речовини. Максимальна добова доза для дорослих — дві десертні ложки, а для дітей, за погодженням з педіатром, — половина чайної. Дієтологи зазначають, що більше тижня пити олію не можна (Londoño, Alberto, & Carlos, 2012).

В ароматерапії олію з ядер персикових кісточок дуже рідко використовують в чистому вигляді: це м'яка, легка, але часто недостатньо активна олія, яку застосовують в суміші з іншими базами й ефірними оліями. Також більш часте використання в сумішах пов'язують з хорошими проникаючими і несучими здатностями олії, завдяки яким поліпшується ефективність терапії.

Застосування олії не має обмежень, адже вона не спричиняє алергічні реакції. Можна застосовувати олію з ядер персикових кісточок і в роботі з дітьми, зокрема й для масажу (Котляр, Ткаченко, Вікуль, & Левчук, 2020).

Термін зберігання олії обмежений навіть при дотриманні всіх правил зберігання він становить один рік. Після розливу олія може бути ще придатна два-три місяці. Але якщо з'явився легкий рибний запах, потрібно утилізувати вміст як будь-який харчовий продукт, користуватися такою олією небезпечно (Katea, & Lohani, 2014).

Мета статті: дослідити сенсорні характеристики олій і макух з різних сортів персикових ядер і їх суміші, одержаних за технологією Extra Virgin.

Матеріали і методи. Сировиною для виготовлення олії обрано ядра персикових кісточок сортів Кардинал, Нектарин, Фламінго, Молдавський та їх суміші (у співвідношенні по 25%), вирощених в Україні та Молдові, врожаїв 2020, 2021 та 2022 років, що відповідає вимогам ДСТУ 7546:2014.

Визначення запаху, смаку, кольору та прозорості олії з ядер кісточок різних сортів персиків проводилися згідно з ДСТУ 8842:2019.

Сенсорні дослідження проводили у складі десяти дегустаторів. Їх основна характеристика полягає в тому, що учасник оцінює сприйняту інтенсивність з посиланням на попередні, абсолютні шкали інтенсивності. Мета полягає в тому, щоб зробити підсумкові профілі універсальними, зрозумілими і корисними. Метод забезпечує масив стандартних імен атрибутів (лексиконів), кожен з яких має свій набір стандартів, що визначають масштаб інтенсивності, зазвичай від 1 до 5, який можна виміряти за шкалою лінії 5 см або просто записувати як прямий номер за 5-бальною шкалою (від 1 до 5), де: від 1,1 до 2,0 — незадовільні; від 2,1 до 3,0 — задовільні; від 3,1 до 4,0 — добрі; від 4,1 до 5,0 — відмінні сенсорні відчуття щодо смаку, запаху, зовнішнього вигляду, прозорості, консистенції та кольору. Протоколи створення лексиконів і список опублікованих лексиконів описані в (Lawless, & Civille, 2013).

Усі отримані цифрові дані опрацьовували за допомогою програми Excel з пакету послуг Microsoft Office—2007. Числові дані представляли у вигляді середнього арифметичного значення та стандартної похибки (M ± m) (Полумбрик, Осипенкова, & Котляр, 2019).

Результати і обговорення. Пресова олія з ядер кісточок різних сортів персиків містить велику кількість зважених часток, в тому числі і мінеральних. Очищення

олії від механічних домішок здійснювали відстоюванням. Після цього вона може зберігатись або використовуватись для подальших цілей.

Макуха придатна для кормових та харчових цілей і може бути використана для виготовлення харчових добавок, активованого вугілля, косметичних продуктів або ж як добриво.

На рис. 1 представлена блок-схема розробленої технології виготовлення олій з ядер кісточок різних сортів персиків та їх сумішей, режими якої були експериментально доведені.

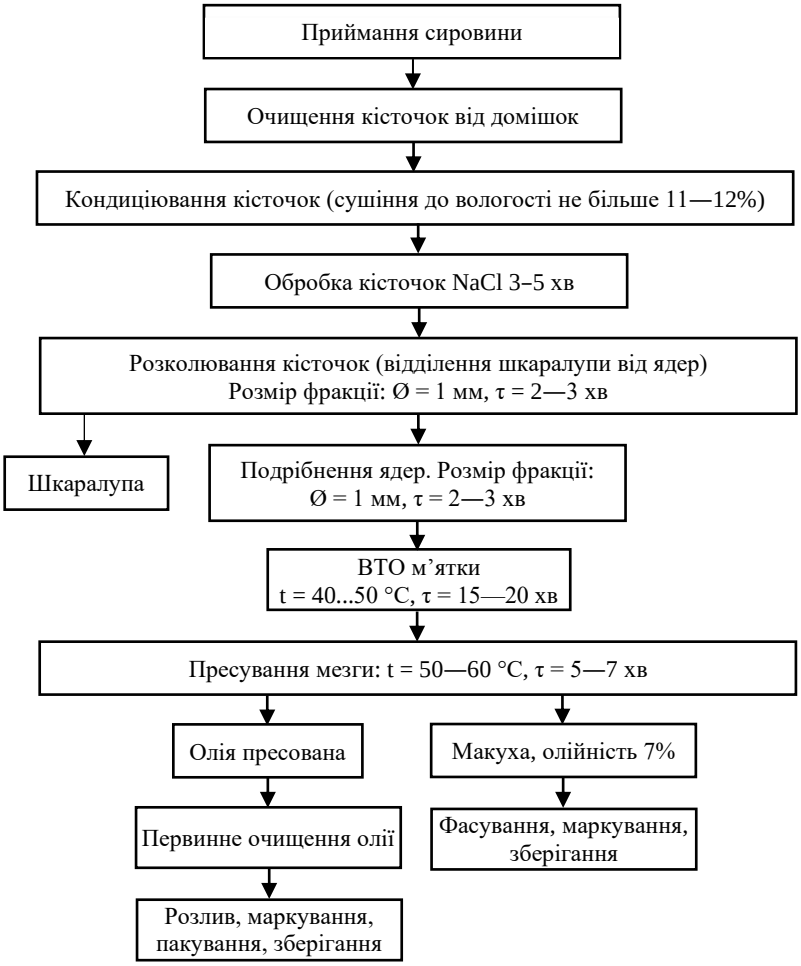


Рис. 1. Блок-схема технології виготовлення олій з ядер кісточок різних сортів персиків та їх сумішей

Було проведено сенсорні дослідження олій з різних сортів ядер персикових кісточок та їх суміші врожаїв 2020—2022 років, які наведені на рис. 2—4. Смак і запах олій з ядер кісточок різних сортів персиків залежать від виду і якості сировини, що переробляється (олія, отримана з дефектних ядер, може мати неприємний смак і затхлий запах), від способу виробництва (пресування чи екстрагування)

і технологічних режимів роботи обладнання. Колір рослинних олій обумовлюється присутністю в їх складі барвників (пігментів), таких як каротиноїди, хлорофіл. Прозорість — показник, що характеризує відсутність у рослинній олії при температурі 20 °С каламуті або зважених часток, видимих неозброєним оком, які погіршують товарний вигляд олії, знижують її сорт.

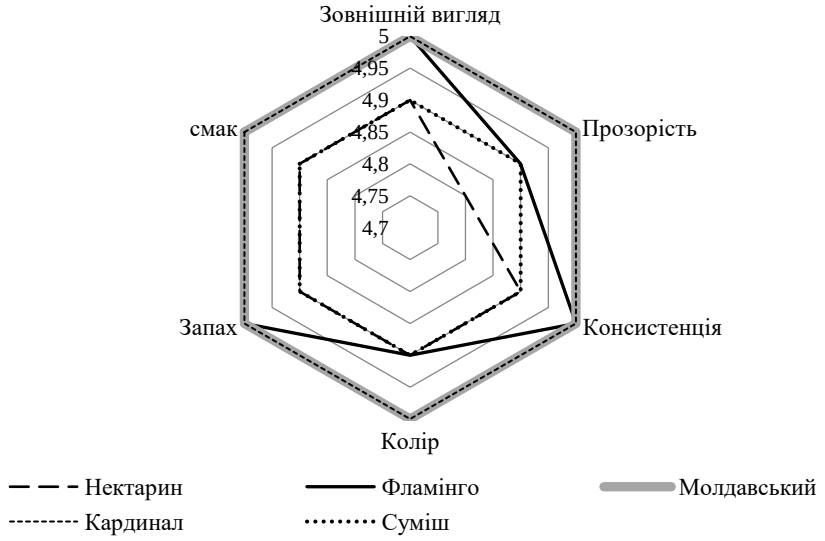


Рис. 2. Профілограма сенсорних показників олії з різних сортів персикових ядер врожаю 2020 р.

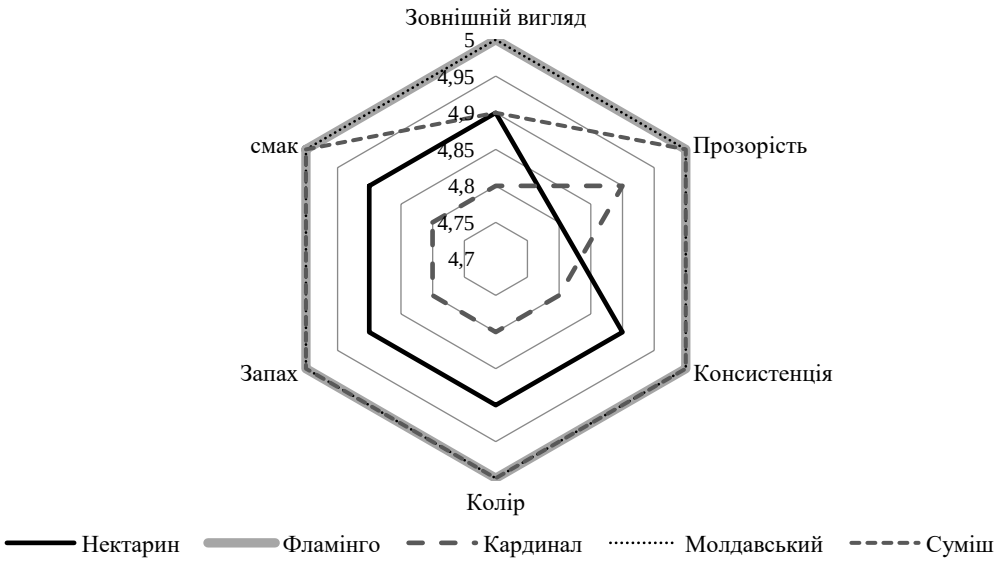


Рис. 3. Профілограма сенсорних показників олії з різних сортів персикових ядер врожаю 2021 р.

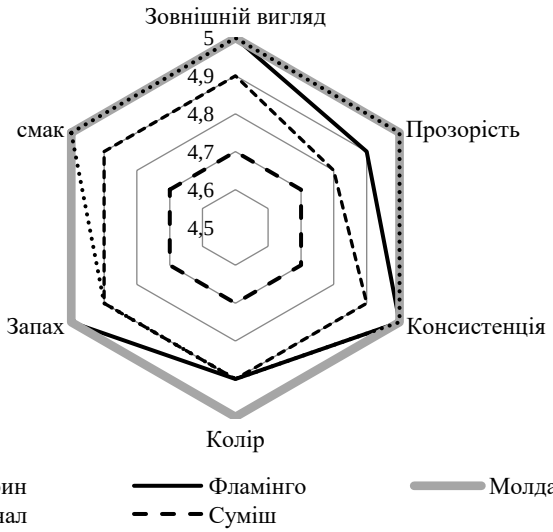


Рис. 4. Профілограма сенсорних показників олії з різних сортів персикових ядер врожаю 2022 р.

З профілограм можна побачити, що найкращу сенсорну оцінку отримали сорт Кардинал і сорт Молдавський — 5,0 ± 0,1 врожаю 2020 р., смак і запах мали приємні ноти персика, зовнішній вигляд був янтарний, олія була прозорою без осаду, консистенція властива олії, колір блискуче жовтий. Найгіршу оцінку отримала їх суміш — 4,7 ± 0,1, смак і запах мали менш виражені ноти персика, зовнішній вигляд, прозорість, консистенція і колір менш інтенсивні, тобто спостерігалась незначна мутність. У врожаю 2021 р. найкращу сенсорну оцінку отримали сорти Молдавський і Фламінго — 5,0 ± 0,1, відчувався смак персика, запах з приємними нотами персика, зовнішній вигляд жовтогарячий, прозора, без завислих часток, консистенція в'язка, колір блискуче жовтий. Найгіршу оцінку отримав сорт Кардинал, усі показники — 4,7 ± 0,1: нотки персика були не яскраво виражені, зовнішній вигляд, консистенція і колір не були інтенсивними, прозорість — 4,8 ± 0,1 (спостерігалась незначна темнуватість). В урожаю 2022 р. найкращу сенсорну оцінку отримав сорт Молдавський, усі показники — 5,0 ± 0,1: смак і запах мали приємні ноти персика, зовнішній вигляд янтарний, олія була прозорою без осаду, консистенція властива олії, колір блискуче жовтий. Найгіршу оцінку отримала суміш — 4,5 ± 0,1: недостатньо вираженими були смак і запах, зовнішній вигляд, консистенція і колір — спостерігалась легка каламутність.

Наступним етапом було сенсорне дослідження отриманої макухи з ядер різних сортів персиків урожаїв 2020—2022 років. Профілограми наведені на рис. 5—7.

Результати сенсорної оцінки макухи з ядер персиків: найкращу сенсорну оцінку отримав сорт Молдавський — 5,0 ± 0,1 врожаю 2020 р.: смак і запах властивий персику, зовнішній вигляд, колір — блискуче жовте забарвлення, консистенція тверда, гарна на розломі. Найгіршу оцінку отримала їх суміш — 4,5 ± 0,1: смак і запах мали віддалені нотки персика, зовнішній вигляд і колір — жовте забарвлення, консистенція тверда, крихка на розломі.

Рис. 5. Профілограма сенсорних показників макухи з різних сортів персикових ядер урожаю 2020 р.

Рис. 6. Профілограма сенсорних показників макухи з різних сортів персикових ядер урожаю 2021 р.

Найкращу сенсорну оцінку отримали сорти Молдавський і Нектарин урожаю 2021 р. — 5,0 ± 0,1: смак і запах властивий персику, зовнішній вигляд і колір — жовте забарвлення, консистенція тверда, добра на розломі. Найгіршу оцінку отримала їх суміш — 4,5 ± 0,1: смак і запах мали ледь вловимі нотки персика, зовнішній вигляд і колір — жовте забарвлення, консистенція тверда, крихка на розломі. Найкращу сенсорну оцінку отримали сорти Молдавський і Нектарин врожаю 2022 р. — 5,0 ± 0,1: смак і запах властивий персику, зовнішній вигляд і колір — яскраве жовте забарвлення, консистенція тверда, гарна на розломі. Найгіршу оцінку отримала суміш — 4,6 ± 0,1: смак і запах — ледь вловимі нотки персика, зовнішній вигляд і колір — жовте забарвлення, консистенція тверда, крихка на розломі.

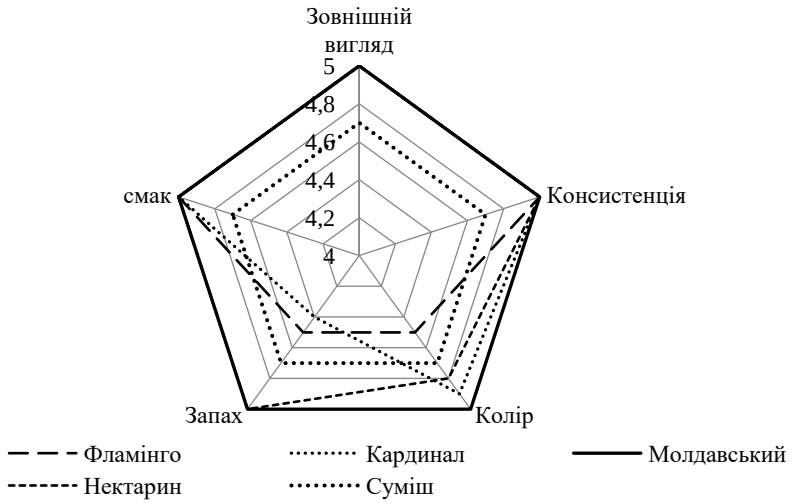


Рис. 7. Профілограма сенсорних показників макухи з різних сортів персикових ядер урожаю 2022 р.

Розроблену технологію виготовлення олії з різних сортів ядер персикових кісточок впроваджено у виробничий процес на Одеському заводі кісточкових і рослинних олій ТОВ «АВА». У подальшому передбачається визначення фізико-хімічних показників і жирнокислотного складу олії та макухи, одержаних з ядер кісточок різних сортів персиків урожаїв 2020—2022 років.

Висновки

Сенсорні дослідження показали, що отримана олійно-жирова продукція з ядер різних сортів персиків 2020—2022 років врожаїв — макуха та олія, за сукупністю показників мають майже однакові відмінні результати, але найвищі були у сортів Молдавський і Кардинал.

У результаті встановлено, що, незважаючи на рік врожаю, із сортів персиків, вирощених в Україні та Молдові, можливо отримувати олії високої якості. Тому актуальним є використання ядер кісточок з різних сортів персиків та їх суміші при виробництві олійно-жирової продукції. Також запропоновано технологію у крафтовому виробництві олій.

Література

Котляр, Є. О., Ткаченко, Н. А., Вікуль, С. І., Левчук, І. В. (2020). Технологія косметичного тоніка на основі водного екстракту з м'ятки ядра абрикосових кісточок. *Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій»*, 84(2), 30—37. https://doi.org/10.15673/swonaft.v2i84.1886.

Полумбрик, М. О., Осипенкова, І. І., Котляр, Є. О. (2019). *Фізико-хімічні методи дослідження якості харчових продуктів*. Черкаси; Одеса; Київ: Логос.

Abdulkarim, S. M. (2007). Frying quality and stability of high-oleic Moringa oleifera seed oil in comparison with other vegetable oils. *Food chemistry*, 105(4), 1382—1389. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.05.013.

Asociacija «Ukrsadprom». Взято з: http://ukrsadprom.org/wp-content/uploads/2019/03/2018-Richnyj-galuzevyj-zvit_Sadivnytstvo-ta-yagidnytstvo-2018.pdf.pdf.

Djeridane, A. (2006). Antioxidant activity of some Algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds. *Food chemistry*, 97(4), 654—660. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.04.028.

Eduardo, L. H. (2010). Health effects of oleic acid long chain omega-3 fatty acids (EPA and DHA) enriched milks. *A review of intervention studies. Pharmacol*, 61(3), 1932—64. https://doi.org/10.1016/j.phrs.2009.10.007.

Guo, P. L., Huang, Q. L., Zhang, P. X., Bittner, L., Pezzei, C., & Pallua, J. (2011). Application of near-infrared spectroscopy (NIRS) as a tool for quality control in traditional chinese medicine (TCM). *Curr. Bioact. Compd.*, 7, 7—584. https://doi.org/10.2174/157340711796011188.

Katea, A. E., & Lohani, U. C. (2014). Traditional and mechanical method of the oil extraction from wild apricot kernel: a comparative study. *Research Journal of Chemical and Environmental Sciences*, 2(2), 54—60.

Khajeamiri, A. (2012). Preparation of Solid Phase Microextraction (SPME) Probes through Polyaniline Multiwalled Carbon Nanotubes (PANI/MWCNTs) Coating for the Extraction of Palmitic Acid and Oleic Acid in Organic Solvents. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research: IJPR*, 11(1), 369—374. https://doi.org/10.22037/IJPR.2011.1035.

Koyu, H. Kazan, A., Nalbantsoy, A., Yalcin, H. T., & Yesil-Celiktas, O. (2020). Cytotoxic, antimicrobial and nitric oxide inhibitory activities of supercritical carbon dioxide extracted Prunus persica leaves. *Mol. Biol. Rep. Jan.*, 47(1), 569—581. doi: 10.1007/s11033-019-05163-1. Epub 2019. Nov 4.PMID: 31686285.

Londoño, P., Alberto, M. P., & Carlos, E. (2012). Hernández Extraction and characterization of crude oil of peach kernel. *Av Cien. Ing*, 3, 37—46. https://doi.org/10.4103%2F0973-1296.141814.

Lawless, L. J. R., & Civille, G. V. (2013). Developing lexicons: A review. *Journal of Sensory Studies*, 28(4), 270—281. https://doi.org/10.1111/joss.12050.

Matthäus, B., & Brühl, L. (2001). Comparison of different methods for the determination of the oil content in oilseeds. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 78(1), 95—102. https://doi.org/10.1007/s11746-001-0226-y.

Pastore, T. C. (2011). Near infrared spectroscopy (NIRS) as a potential tool for monitoring trade of similar woods: Discrimination of true mahogany, cedar, andiroba, and curupixá. *Holzforschung*, 65(1), 73—80. https://doi.org/10.1080/05704928.2011.621079.

Wu, H. (2011). Essential oil extracted from peach (Prunus persica) kernel and its physicochemical and antioxidant properties. *LWT-Food Science and Technology*, 44(10), 2032—2039. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.05.012.

Yiğit, D., Yiğit, N., & Mavi, A. (2009). Antioxidant and antimicrobial activities of bitter and sweet apricot (Prunus armeniaca L.) kernels. *Braz. J. Med. Biol. Res.*, 42(4), 346—352.

Yılmaz, İ. (2010). Karotenoidler. *Journal of Turgut Ozal Medical Center*, 17(3), 223—231.

Zhao, X. (2007). Determination of free fatty acids in bryophyte plants and soil by HPLC with fluorescence detection and identification by online MS. *Chromatographia*, 66, 197—206. https://doi.org/10.1365/s10337-007-0271-1.

УДК 664.664.6

RESEARCH ON THE USE OF GREEN BUCKWHEAT FLOUR IN THE TECHNOLOGY OF RUSKS

L. Mykhonik, I. Pohorielov
National University of Food Technologies

Key words:
Flour
Green buckwheat
Rusk products
Bakery products
Nutritional value

Article history:
Received 11.11.2024
Received in revised form 26.11.2024
Accepted 10.12.2024

Corresponding author:
L. Mykhonik
E-mail:
Lora@i.ua

Citation: Михонік Л. А., Погорєлов І. С. (2024). Дослідження використання борошна зеленої гречки в технології простих сухарів. *Наукові праці НУХТ*, 30(6), 123—132.
DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-6-12

ABSTRACT

The use of unconventional plant-based raw materials in breadmaking is relevant as it helps to balance the content of essential macro- and micronutrients in bakery products. Green buckwheat flour is such a material, which contains approximately 15% protein with a balanced amino acid composition and is characterized by high levels of vitamins, minerals, antioxidants, and dietary fibers, including β-glucans, which have a positive effect on human health.

The influence of green buckwheat flour on the technological process, sensory, and physicochemical quality indicators of simple rusks was examined. Mixtures with various ratios of premium wheat flour and green buckwheat flour (90:10, 80:20, 70:30) were prepared to analyze changes in dough acidity, moisture, proofing time, and the properties of the finished products.

The results demonstrated that replacing wheat flour with green buckwheat flour increased the initial and final acidity of the dough due to the presence of organic acids in green buckwheat flour and the intensification of the fermentation process.

It was found that when 30% of wheat flour was replaced with green buckwheat flour, the moisture content and acidity of the rusks significantly increased, and their water absorption capacity also raised, extending the soaking time. This indicates a denser crumb structure. Sensory analysis revealed that increasing the proportion of buckwheat flour darkened the crumb color and introduced a characteristic taste, enhancing the product's appeal.

The optimal dosage was 20% green buckwheat flour as a replacement for wheat flour, which achieved a balanced texture, flavor, and quality of the rusks. The use of green buckwheat flour in rusk technology enhanced the nutritional and biological value of the products, making it a promising addition to the nutrition both everyday and military.

DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-6-12

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ БОРОШНА ЗЕЛЕНОЇ ГРЕЧКИ В ТЕХНОЛОГІЇ ПРОСТИХ СУХАРІВ

Л. А. Михонік, І. С. Погорєлов
Національний університет харчових технологій

Використання рослинної нетрадиційної для хлібопечення сировини у виробництві хлібобулочних виробів є актуальним, оскільки дає змогу збалансувати вміст і виробах життєво необхідних макро- та мікронутрієнтів. До такої сировини відноситься борошно зеленої гречки, яке містить близько 15% білка зі збалансованим амінокислотним складом і характеризується високим вмістом вітамінів, мінеральних речовин, антиоксидантів, харчових волокон, зокрема β-глюканів, що мають позитивний вплив на організму людини.

Вивчено вплив борошна зеленої гречки на технологічний процес, органолептичні та фізико-хімічні показники якості простих сухарів. Для аналізу змін кислотності тіста, вологості, тривалості вистоювання та властивостей готових виробів підготовлено суміші з різними співвідношеннями борошна пшеничного вищого сорту та борошна зеленої гречки (90:10, 80:20, 70:30%). Результати показують, що заміна пшеничного борошна на борошно зеленої гречки підвищує початкову та кінцеву кислотність тіста, що обумовлено наявністю органічних кислот у складі борошна зеленої гречки та інтенсифікацією процесу бродіння.

Дослідження показує, що в разі заміни 30% пшеничного борошна на гречане вологість і кислотність сухарів значно зростають, а здатність до водопоглинання також підвищується, що збільшує час намочування сухарів і свідчить про щільнішу структуру м'якушки. Органолептичний аналіз виявив, що зі збільшенням частки гречаного борошна колір м'якушки темнішає, а також з'являється характерний смак, що підсилює привабливість виробу. Оптимальним дозуванням є 20% борошна зеленої гречки замість пшеничного, що сприяє досягненню збалансованої текстури, смаку та якості сухарів. Використання борошна зеленої гречки в технології сухарів підвищує харчову та біологічну цінність виробів, що є перспективним доповненням для військового та повсякденного раціону.

Ключові слова: *борошно, зелена гречка, сухарні вироби, хлібобулочні вироби, харчова цінність.*

Постановка проблеми. Споживчі властивості хлібних виробів зі зниженою вологістю значною мірою залежать від сорту борошна, з якого вони виготовлені, що обумовлено різним хімічним складом. Вироби з борошна нижчих сортів містять більше жирів, вітамінів і мінеральних речовин, тоді як продукція з борошна вищих сортів має більше крохмалю, відрізняється краще розвинутою пористістю, приємним ароматом і смаковими властивостями, а також високою засвоюваністю вуглеводів. Один із напрямків розширення асортименту хлібобулочних виробів зі зниженою вологістю є використання нетрадиційних для хлібопечення видів сировини.

Для підвищення харчової і біологічної цінності хлібобулочних виробів можна використовувати різні види рослинної сировини, а також побічні продукти їх виробництва, проте обсяги виробництва такої продукції ще обмежені через недосконалість технології виготовлення.

Нетрадиційна сировина для хлібопекарської промисловості може бути рослинного, тваринного, мінерального та змішаного походження. До рослинної сировини належать лікарська, пряно-ароматична сировина, а також основні і побічні продукти переробки зернових, олійних і бобових культур — борошно, пластівці, висівки, шроти, макуха тощо. Так, борошно з круп'яних культур, зокрема вівсяне, ячмінне, гречане, рисове, пшоняне додає хлібним виробам функціональних властивостей.

Зелена гречка є цінним джерелом основних макро- та мікронутрієнтів, борошно з неї, порівняно з пшеничним сортовим борошном, має значно вищий вміст білка зі збалансованим амінокислотним складом, мінералів, вітамінів і харчових волокон, в тому числі β-глюкани. В умовах сьогодення актуальним є збагачення виробів тривалого зберігання, зокрема сухарів, з метою підвищення їх харчової та біологічної цінності шляхом заміни частина пшеничного борошна на борошно зеленої гречки (Дзюндзя, & Звагольська, 2021).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зелена гречка містить близько 15% білка, у складі якого є всі вісім незамінних амінокислот, а також до 155 мг/100 г антиоксидантів. Завдяки високій біологічній цінності білки зеленої гречки є одними з найбільш поживних серед рослинних білків. Крім того, гречка вирізняється значним вмістом вітамінів, таких як тіамін, рибофлавін, нікотинова кислота й токоферол, які наявні в значно більшій кількості порівняно з іншими зерновими культурами. Мінеральний склад зерна багатий на залізо (6—10 мг), цинк (2—3 мг) та селен (2—5 мкг), що робить його цінним для зміцнення здоров'я (Городецька, Камбулова, Кохан, & Олексієнко, 2020).

Борошно із зеленої гречки насичене дубильними речовинами та органічними кислотами, такими як щавлева, лимонна, яблучна, галова, кавова, хлорогенова, пірокатехінова та малеїнова кислоти. Воно має високу енергетичну цінність (280—320 ккал), що забезпечує тривале відчуття ситості без важкості після споживання. Борошно також багате на вітаміни групи В (B_1, B_2, B_6, B_9), Е, РР, які в комплексі з фосфором сприяють підтримці та синтезу нервових клітин. Серед макроелементів особливу роль відіграють калій, магній і фосфор; серед мікроелементів — залізо, мідь, цинк, хром, молібден і марганець, що підвищує корисність цього продукту для здоров'я.

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 (Остронос, Чичикало, Чернишова, & Михонік, 2019).

Дослідження показали, що заміна 15% пшеничного борошна на гречане надає хлібу характерного кольору, забезпечує хорошу пористість і приємний смак. Хліб із гречкою має вищий вміст рутину і кверцетину, що підвищує його антиоксидантну активність і демонструє вищу здатність до нейтралізації вільних радикалів (Lin, Liu, Yu, Lin, & Mau, 2009).

Науковцями запропоновано рецептуру сухарів, яка складається з борошна житнього цільнозернового, борошна зеленої гречки, пшеничного борошна 1-го сорту, сухої пшеничної клейковини, висівок вівсяних, жмиху стевії, екстракту стевії та фруктози. Проведені медико-біологічні дослідження показали, що розроблені вироби скоректованого нутріцевтичного рецептурного складу можна рекомендувати для харчування в разі проведення антибіотикотерапії (Сімонова, & Соколова, 2018).

Борошно з темної гречки має більшу крупність частинок, ніж борошно зеленої гречки. Від крупності борошна залежить його водопоглинальна здатність. Водопоглинальна здатність борошна темної гречки становить 352%, а борошна зеленої гречки — 316%. Унаслідок менших розмірів частинок борошна збільшується питома поверхня поглинання, що суттєво впливає на водопоглинальну здатність тіста та його в'язкість. Клейстеризований крохмаль, що міститься в борошні темної гречки, підвищує водопоглинальну здатність тіста та спричиняє утримання вологи в тісті під час випікання (Стукальська, & Златєва, 2023).

Багатий хімічний склад борошна вівсяного, ячмінного, зеленої гречки та рисового свідчить про їх значний потенціал як цінної сировини для виробництва хлібобулочних виробів з функціональними властивостями. Вищезазначені види борошна є джерелами повноцінного білка, вітамінів (A, E, PP, групи B), мікроелементів (Fe, K, P, Ca, Mg), харчових волокон. Зокрема, високий вміст розчинних полісахаридів, таких як ß-D-глюкани, що робить їх перспективними завдяки імуномодулюючим властивостям. Нетрадиційні види борошна дають змогу розширити асортимент виробів, збагачуючи їх харчову цінність (Гетьман, Михонік, & Науменко, 2019).

Використання лікарської і пряно-ароматичної рослинної сировини позитивно впливає на пригнічення біохімічних і мікробіологічних процесів, які спричиняють псування харчових продуктів. Застосування екстрактів хмелю, кропиви та ромашки під час виготовлення здобних сухарів забезпечує значне гальмування процесу псування жирової складової. Кислотне число у зразках з хмелевим екстрактом через 90 діб зберігання у 2,5 раза меншим порівняно з контрольним зразком, а з екстрактами кропиви — 85%, ромашки — 38%. Екстракт ромашки найбільш гармонійно впливає на смак здобних сухарів, але є найменш ефективним антиоксидантом (Іоргачова, Соколова, Макарова, & Гордієнко, 2019).

Результати досліджень свідчать, що хороші показники якості хліба для виробництва сухарів досягаються за дозування борошна із зеленої гречки в кількості до 20% і темної — до 15% замість маси пшеничного борошна. Встановлено, що сухарі з додаванням борошна із зеленої гречки мають якісні показники, які відповідають вимогам нормативної документації. Показано, що використання борошна з темної гречки в технології сухарів ускладнює технологічний процес, оскільки готові вироби мають підвищену вологість і коефіцієнт набухання, більш щільну структуру і меншу ламкість, сухарі потребують значно довшої тривалості сушіння. Це пов'язано із впливом гідротермічної обробки зерна, з якого виготовляється темне гречане борошно, його високою водопоглинальною та водоутримувальною здатністю.

У технології бубликів, збагачених насінням льону, рекомендовано дозувати насіння льону в кількості 15% від маси борошна. При такому дозуванні вироби отримали найвищу кількість балів за комплексним показником якості і відповідали вимогам нормативної документації (Bondarenko, Mykhonik, Bilyk, Kochubei-Lytvynenko, Andronovich, & Hetman, 2019).

Додавання борошна з чорного рису значно підвищило загальний вміст золи, білка та загального жиру, однак вміст вуглеводів у сухарях суттєво зменшився. Також збільшився вміст фенолів і флавоноїдів, що забезпечило відмінну здатність до нейтралізації вільних радикалів після додавання чорного рису. Включення борошна з чорного рису покращило функціональні властивості, знизивши швидкість травлення крохмалю та значення глікемічного індексу. Сенсорні оцінки дещо знизилися після додавання чорного рису, проте всі зразки сухарів залишилися прийнятними за шкалою сприйняття (Kumari, & Gupta, 2024).

Дослідження показало, що часткова заміна пшеничного борошна на ячмінне у виробництві сухарів є ефективним способом підвищення їх харчової цінності. Додавання ячмінного борошна покращує профіль біоактивних сполук і збільшує антиоксидантну активність продукту, зокрема завдяки високому вмісту фенольних сполук і флавоноїдів. Сухарі з додаванням 30% ячмінного борошна мають кращі функціональні властивості, зберігаючи смакові характеристики (Punia, Sandhu, & Kaur, 2020).

Метою статті є дослідження впливу борошна зеленої гречки на технологічний процес, органолептичні та фізико-хімічні показники якості простих сухарів.

Матеріали і методи. Для досліджень використовували таку сировину: борошно пшеничне вищого сорту (ТМ «Zernari»), борошно зеленої гречки (ТМ «Органік Еко Продукт»), дріжджі хлібопекарські пресовані (ТМ «Духмяна хата»), сіль кухонну харчову (ТМ «Своя Лінія»).

Для дослідження взято суміші з пшеничного борошна та борошна зеленої гречки в такому співвідношенні — 90:10, 80:20, 70:30%. Контролем слугував зразок з пшеничного борошна вищого сорту.

Уся сировина та реактиви для проведення досліджень відповідали нормативній документації та зберігались у необхідних умовах, зазначених на маркуванні. Зразки сухарів виготовляли з хліба, який піддавали відлежуванню для запобігання деформації під час нарізання.

Зразки тіста з досліджуваних видів борошна для виготовлення хліба готували безопарним способом з додаванням пресованих хлібопекарських дріжджів і солі. В тісті визначали масову частку вологи, кислотність наприкінці бродіння (Shevchenko, Drobot, & Galenko, 2022). Тісто виброджувало протягом 120 хв (30±2) °С, після чого його вручну поділяли на шматки і формували тістові заготовки для формового і подового хліба. Вистоювання тістових заготовок відбувалось у камері вистоювання ТМ «Sveba-Dahlen» (Швеція) за температури (32±2) °С та відносній вологості (75±2)% до готовності. Вироби випікали в ярусній печі ТМ «Sveba-Dahlen» (Швеція) за температури 200...220 °С. Контролем було обрано хліб і сухарі з пшеничного борошна вищого сорту без додавання борошна зеленої гречки.

Якість хліба для виготовлення сухарів оцінювали за органолептичними (зовнішній вигляд, стан поверхні, забарвлення скоринки, структура пористості, смак,

запах) (Galenko, Shevchenko, Ceccanti, Mignani, & Litvynchuk, 2024) та фізико-хімічними показниками (кислотність, пористість, питомий об'єм, формостійкість). Масову частку вологи м'якушки хліба визначали методом висушування наважки в сушильній шафі СЕШ-3М (ТОВ «УкрАналитика», Україна) за температури 130 °С протягом 40 хв, кислотність — методом титрування витяжки, приготовленої з м'якушки хліба, розчином гідроксиду натрію або калію в присутності індикатора фенолфталеїна (Hetman, Mykhonik, Kuzmin, & Shevchenko, 2021).

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.

Формостійкість виробів визначали вимірюванням висоти і діаметра подових виробів (мм) і оцінювали за їх співвідношенням.

Об'єм хліба визначали за допомогою спеціального приладу — об'ємомірника (місткість з дрібним зерном), що працює за принципом витиснення хлібом зерна. Об'єм витисненого зерна ($см^3$), що вимірюють за допомогою циліндра, відповідає 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 $см^3$/100 г (Zhu, Sakulnak, & Wang, 2016).

Для отримання зразків сухарів формовий хліб після 12 год відлежування нарізали на скибки товщиною 1,5 см, які висушували за температури 130 °С протягом 40 хвилин.

Якість сухарів оцінювали за органолептичними показниками (зовнішній вигляд, стан поверхні, структура пористості, колір, смак, запах) та фізико-хімічними показниками (масова частка вологості, кислотність, намочуваність) (Bondarenko, Mykhonik, Bilyk, Kochubei-Lytvynenko, Andronovich, & Hetman, 2019).

Результати і обговорення. Із досліджуваних зразків борошна замішували тісто, яке після бродіння піддавали поділу, формуванню тістових заготовок, їх вистоюванню і випіканню. Показники якості технологічного процесу наведено в табл.1.

Таблиця 1. **Показники технологічного процесу**

Показник	Контроль	Внесено борошна зеленої гречки, % замість маси пшеничного		
		10	20	30
Кислотність тіста початкова, град.	1,4	1,6	2,2	2,4
Кислотність тіста кінцева, град.	2,0	2,4	3,0	3,2
Вологість тіста, %	44,0	44,0	44,1	44,2
Час вистоювання тістових заготовок, хв	45	41	35	30
Упікання тістових заготовок, %	11,6	11,4	10,6	10,0

Рівень кислотності тіста визначає смакові характеристики і впливає на подальшу якість хлібобулочних виробів. Початкова кислотність тіста збільшувалася

від 1,4 у контрольного зразка до 2,4 при 30% заміні пшеничного борошна на борошно зеленої гречки, кінцева кислотність зростала від 2,0 до 3,2 град. Ці зміни пояснюються наявністю в борошні зеленої гречки органічних кислот і ферментів, таких як протеази та амілази, що сприяють процесам ферментації. Відомо, що борошно зеленої гречки містить більше вільних амінокислот, вітамінів групи В, та біологічно активних речовин, які активізують ферментацію, що призводить до інтенсивнішого накопичення органічних кислот в тісті.

Час вистоювання тістових заготовок знижувався зі збільшенням частки борошна зеленої гречки: від 45 хв у контрольного зразка до 30 хв при 30% заміні. Це може бути обумовлено більшим, порівняно з пшеничним вищого сорту, вмістом цукрів у борошні зеленої гречки та кращою піддатливістю крохмалю цього борошна дії амілолітичних ферментів, що інтенсифікує накопичення діоксиду вуглецю у тісті та сприяє скороченню тривалості вистоювання.

Показник упікання змінювався за різного дозування борошна зеленої гречки: за 30% заміні показник знизився з 11,6% (контрольний зразок) до 10,0%. Ймовірно, це пов'язано з відмінностями хімічного складу пшеничного борошна та гречаного, і, відповідно, різною водоутримувальною здатністю тістової системи під час випікання.

Дослідження органолептичних показників хліба для виготовлення сухарів показало, що в контрольному зразку, виготовленому без гречаного борошна, показники відповідають традиційним характеристикам хліба з пшеничного борошна. Усі зразки формового хліба мають правильну прямокутну форму з опуклою скоринкою. Однак збільшення вмісту борошна зеленої гречки призвело до зменшення об'єму виробів, що особливо помітно у зразках з дозуванням 30% гречаного борошна. Це обумовлене меншою еластичністю тіста, що знижує здатність до утримання діоксиду вуглецю під час бродіння, вистоювання і випікання. Білки зеленої гречки, на відміну від клейковинних білків пшениці, не здатні формувати таку ж міцну сітку для утримання вуглекислого газу, що призводить до зменшення висоти і об'єму хліба.

Зміна кольору м'якушки також пов'язана зі збільшенням дозування борошна зеленої гречки. У контрольного зразка м'якушка має світлий, кремовий відтінок, типовий для хліба з пшеничного борошна. У зразка з 10% заміною колір стає дещо темнішим, наближеним до кремово-бежевого. Зразки з 20 і 30% борошна зеленої гречки мають ще більш насичений, темніший відтінок м'якушки. Це пояснюється природним кольором зеленої гречки, а також наявністю в ній поліфенольних сполук, які під час термічної обробки можуть спричиняти потемніння м'якушки. Крім того, зелена гречка має вищий вміст зольних речовин, що також може сприяти темнішому забарвленню хліба.

Контрольний зразок має добре розвинену пористу структуру з середніми нерівномірно розподіленими порами. У зразках з гречаним борошном структура м'якушки стає більш щільною, з дрібнішими та більш рівномірними порами, що позитивно вплине на структуру сухарів, виготовлених з цього хліба. Додавання борошна зеленої гречки надає хлібу характерний приємний аромат, притаманний гречці. Це пов'язано з наявністю флавоноїдів та інших ароматичних сполук, властивих зеленій гречці, які зберігаються і після випікання.

Вологість хліба з гречаним борошном дещо вища, порівняно з контрольним зразком. Це узгоджується з визначеним показником упікання і підтверджує водоутримувальну здатність гречаного борошна.

Таблиця 2. **Показники якості хліба для виготовлення сухарів**

Показник	Контроль	Внесено борошна зеленої гречки, % замість маси пшеничного		
		10	20	30
Вологість, %	43,1	43,2	43,5	43,6
Кислотність, град	1,4	1,6	1,8	2,0
Пористість, %	79	76	75	69
Питомий об'єм, $см^3/100$ г	296	276	262	220
H/D	0,54	0,50	0,48	0,42

Кислотність виробів зростала зі збільшенням частки борошна зеленої гречки. Заміна пшеничного борошна на борошно зеленої гречки призводила до зменшення показника пористості хліба. Найбільш помітним зниження цього показника у зразку з 30% гречаного борошна. Це пояснюється зменшенням вмісту клейковини в тісті і погіршенням його газоутримувальної здатності. Білки зеленої гречки мають більше водорозчинних і солерозчинних фракцій і не здатні формувати еластичну сітку, як пшеничний глютен, що призводить до більш щільнішої структури хліба.

Зменшення показника H/D із зростанням заміни пшеничного борошна на гречане свідчить про погіршення формоутримувальної здатності, що обумовлено більшим розрідженням тіста порівняно з контролем.

Зменшення питимого об'єму хліба (від 296 до 220 $см^3/100$ г) підтверджує щільнішу текстуру м'якушки і формування більш компактної структури пористості в разі додавання гречаного борошна. Зразки з додаванням 10 і 20% борошна зеленої гречки мають незначну різницю в показниках питомого об'єму і пористості, тоді як додавання 30% призводить до їх різкого погіршення.

З отриманих зразків формового хліба виготовляли сухарі, показники якості яких наведені в табл. 3.

Таблиця 3. **Показники якості сухарів**

Показник	Контроль	Внесено борошна зеленої гречки, % замість маси пшеничного		
		10	20	30
Вологість, %	5,7	7,0	8,6	10,8
Кислотність, град	2,5	2,6	3,1	3,6
Намочуваність	3 хв 15 с	3 хв 50 с	4 хв 30 с	6 хв 20 с

Вологість сухарів збільшувалася при додаванні борошна зеленої гречки, досягаючи 10,8% при 30% заміні, що обумовлено високою гігроскопічністю зеленої гречки. Навіть після сушіння сухарі з гречаним борошном зберігають більше вологи завдяки гідрофільним властивостям білків і харчових волокон зеленої гречки.

Підвищення кислотності сухарів (від 2,5 до 3,6 град) пов'язано з більшою кислотністю гречаного борошна та інтенсивністю кислотонакопичення під час бродіння тіста.

Збільшення часу намочування сухарів (від 3 хв 15 с до 6 хв 20 с) можна пояснити тим, що зі збільшенням дозування борошна зеленої гречки м'якушка мала більш щільну структуру і це ускладнювало доступ води до глибших шарів.

Висновки

Використання борошна зеленої гречки у виробництві хлібних виробів, зокрема сухарів, дає змогу підвищити харчову цінність продуктів завдяки високому вмісту білка зі збалансованим амінокислотним складом, антиоксидантів, вітамінів і мінеральних речовин, що надає їм оздоровчих властивостей. Такі продукти можуть знайти широке застосування в добовому раціоні військових.

Проведене дослідження впливу борошна зеленої гречки на фізико-хімічні й органолептичні показники хліба, призначеного для виготовлення сухарів, показало зміни в структурі, текстурі та смакових характеристиках продукту. Заміна пшеничного борошна на борошно зеленої гречки сприяла підвищенню кислотності тіста та хліба, що відображає інтенсивніший процес бродіння, обумовлений високим вмістом органічних кислот у гречаному борошні.

Заміна пшеничного борошна на гречане також впливає на текстуру м'якушки хліба — зразки з додаванням борошна зеленої гречки мали більш дрібну та рівномірну пористість і більшу щільність. Зростання частки гречаного борошна призводить до потемніння м'якушки хліба, що зумовлено наявністю поліфенольних сполук у складі гречки. Хліб із борошном зеленої гречки має характерний приємний смак і аромат завдяки природним флавоноїдам і ароматичним сполукам гречки.

З огляду на результати для досягнення оптимальної якості хліба з додаванням борошна зеленої гречки для виготовлення простих сухарів рекомендовано обмежувати частку гречаного борошна до 20%, щоб зберегти бажану текстуру виробів.

Застосування борошна зеленої гречки у виробництві сухарів є перспективним напрямом, що сприяє розширенню асортименту хлібобулочних виробів з підвищеною біологічною цінністю. Подальші дослідження будуть спрямовані на визначення оптимального способу тістоприготування з борошном зеленої гречки та визначення параметрів сушіння сухарів з цією сировиною.

Література

Гетьман, І. А., Михонік, Л. А., Науменко, О. В. (2019). *Борошно круп'яних культур як перспективна нетрадиційна сировина в хлібопеченні.* Інноваційний розвиток харчової індустрії: матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції. Київ, НУХТ.

Городецька, І. М., Камбулова, Ю. В., Кохан, О. О., Олексієнко, Н. В. (2020). Якість здобного печива із застосуванням борошна зеленої гречки, цикорію і керобу. *Харчова промисловість*, 28, 54—61. https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/6f9f43a5-d808-461c-8170-4287b13881ee/content.

Дзюндзя, О., Звагольська, К. (2021). Аналіз нетрадиційної борошняної сировини для виробництва хлібобулочних виробів. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*, (1), 22—29. https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2021.1.4.

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

Іоргачова, К. Г., Соколова, Н. Ю., Макарова, О. В., Гордієнко, Л. В. (2019). Сучасні аспекти використання рослинної сировини для гальмування псування хлібобулочних виробів зниженої вологості. *Наукові праці НУХТ*, 25(5), 125—134. https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/9f3069f7-859d-416e-8a40-4343f8006d17/content.

Остронос, А., Чичикало, Ю., Чернишова, М., Михонік, Л. (2019). Вплив борошна з зеленої та з темної гречки на якість клейковини та структурно-механічні властивості тіста. *Наукові здобутки молоді — вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті*: матеріали 85 міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів. Київ, НУХТ.

Сімонова, А. О., Соколова, Н. Ю. (2018). Використання борошна зеленої гречки в технології хлібобулочних виробів пониженої вологості для зниження їх глікемічного індексу. *Проблеми формування здорового способу життя у молоді*: зб. матеріалів XI Всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених та студ. з міжнар. участю. Одеса.

Стукальська, Н. М., Златєва, К. В. (2023). Дослідження функціонально-технологічних властивостей безглютенової сировини. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*, 4, 192—199. https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.4.24.

Bondarenko, Y., 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.

Galenko, O., Shevchenko, A., Ceccanti, C., Mignani, C., & Litvynchuk, S. (2024). Transformative shifts in dough and bread structure with pumpkin seed protein concentrate enrichment. *European Food Research and Technology*, 250, 1177—1188. https://doi.org/10.1007/s00217-023-04454-z.

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.

Kumari, R., & Gupta, M. (2024). Characterization of rusk incorporated with black rice (Oryza sativa L.) for its physicochemical and functional properties, in-vitro starch digestibility, and anti-inflammatory efficacy. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 104(5), 2610—2620.

Lin, L. Y., Liu, H. M., Yu, Y. W., Lin, S. D., & Mau, J. L. (2009). Quality and antioxidant property of buckwheat enhanced wheat bread. *Food Chemistry*, 112(4), 987—991.

Punia, S., Sandhu, K. S., & Kaur, M. (2020). Quantification of phenolic acids and antioxidant potential of wheat rusks as influenced by partial replacement with barley flour. *Journal of Food Science and Technology*, 57, 3782—3791.

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.

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.

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.

УДК 637.521.47:613.292

THE IMPACT OF ACTIVE STABILIZERS ON THE FUNCTIONAL PROPERTIES OF MINCED MEAT

I. Strashynskyi, M. Hrytsai
National University of Food Technologies

Key words:
Active stabilizer
Meat system
Chopped semi-finished product
Functional-technological properties

Article history:
Received 14.07.2024
Received in revised form 28.07.2024
Accepted 10.12.2024

Corresponding author:
I. Strashynskyi
E-mail:
sim2407@ukr.net

Citation: Страшинський І. М., Грицай М. С. (2024). Вплив активних стабілізаторів на функціональні властивості м'ясних фаршів. *Наукові праці НУХТ*, 30(6), 133—142.
DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-6-13

ABSTRACT

In modern food production technologies, a wide range of food additives is used, including inorganic phosphate salts and their mixtures for coarsely minced meat emulsions of chopped semi-finished products. This is due to the morphological and chemical composition of raw materials, the degree of maturation and development of autolytic processes, the state depending on the method of refrigeration treatment, and the pH level of the meat. Potential health risks for consumers of meat products containing phosphate salts have been noted, and the need for alternatives to inorganic phosphates that provide similar functionality and compliance of finished products with quality indicators.

The aim of this study was to determine the effect of a phosphate-free complex of active stabilizers on meat systems of chopped semi-finished products — cutlets to ensure the full realization of the functional and technological properties of the primary raw material and minimal weight loss during heat treatment. Control samples of cutlets were prepared according to the traditional technology, in which phosphate preparations were used.

The effect of classic methods of heat treatment of chilled cutlets — frying, steaming, and baking in a steam combi machine when using improved technology in fast food enterprise networks was examined. Culinary readiness was assessed by measuring the temperature in the medium layer of the products, which reached 85 °C for natural minced meat semi-finished products. The results of mass loss after heat treatment showed that all samples from the experimental groups of cutlets had a higher yield than the control group samples. The reduction in mass loss during various methods of heat treatment of minced meat semi-finished products (cutlets) corresponded to the results obtained for functional and technological properties like: water-binding capacity (WBC), water-holding capacity (WHC), and fat-holding capacity (FHC).

DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-6-13

ВПЛИВ АКТИВНИХ СТАБІЛІЗАТОРІВ НА ФУНКЦІОНАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ М'ЯСНИХ ФАРШІВ

І. М. Страшинський, М. С. Грицай
Національний університет харчових технологій

У сучасних технологіях виготовлення продуктів харчування передбачено використання широкого спектру харчових добавок, зокрема неорганічних фосфатних солей і їх сумішей для грубоподрібнених м'ясних емульсій посічених напівфабрикатів. Це обумовлено морфологічним і хімічним складом сировини, ступенем дозрівання і розвитку автолітичних процесів, станом за способом холодильного оброблення і показником pH м'яса. Відмічено потенційні ризики для здоров'я споживачів м'ясопродуктів з використанням фосфатних солей та обґрунтовано доцільність пошуку альтернатив неорганічним фосфатам, які забезпечують аналогічну функціональність і відповідність готових виробів показникам якості.

Метою проведення досліджень було визначення впливу безфосфатного комплексу активних стабілізаторів на м'ясні системи посічених напівфабрикатів для забезпечення повної реалізації функціонально-технологічних властивостей основної сировини та мінімальних втрат маси при термообробленні. Контрольні зразки котлет виготовлені за традиційною технологією, в рецептурах яких передбачено використання фосфатних препаратів. Використано загальноприйняті методи контролю технологічного процесу та якості виробів.

Досліджено вплив класичних способів теплової обробки охолоджених котлет — смаження, відварювання на парі та запікання в пароконвектоматі у разі використання удосконаленої технології в мережі підприємств швидкого харчування. Досягнення кулінарної готовності визначали за температурою в товщі виробів, яка для м'ясних посічених натуральних напівфабрикатів становила 85 °С. Результати досліджень втрат маси після теплової обробки свідчать, що всі зразки дослідних груп котлет мають більший вихід, ніж зразки контрольної групи. Зменшенням втрат маси при використанні різних способів теплової обробки м'ясних посічених напівфабрикатів (котлет) відповідає результатам визначення функціонально-технологічних властивостей — ВЗЗ, ВУЗ і ЖУЗ.

Ключові слова: *активні стабілізатори, м'ясні системи, посічені напівфабрикати, функціонально-технологічні властивості.*

Постановка проблеми. Нині у споживачів відбувається зміна моделей харчування, і покупці все більше усвідомлюють зв'язок між їжею та здоров'ям. Водночас ряд епідеміологічних досліджень пов'язують високі показники споживання ультраобробленої їжі із серйозними наслідками для здоров'я населення. У цьому контексті деякі м'ясні продукти часто сприймаються як нездорові через їх рецептурний склад. Зменшивши рівні шкідливих компонентів, таких як фосфати, нітрити, кухонна сіль, можна уникнути багатьох негативних асоціацій (Alirezalu та ін., 2019; Choe та ін., 2018; Lorenzo та ін., 2015; Choi та ін., 2014; Benini, D'Alessandro, Gianfaldoni, & Cupisti, 2011; Sebranek, & Bacus, 2007; Câmara та ін., 2020).

Проте наукові дослідження показали, що зниження рівня цих компонентів може призвести до потенційних ризиків через текстуру, колір та вихід м'ясних продуктів, що спонукає до пошуку і використання «безпечніших» функціональних інгредієнтів (Страшинський, & Грицай, 2023; Molina, Bohrer, & Mejia, 2023; Calvo, Sherman, & Uribarri, 2019).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Використання органічних і неорганічних добавок, що містять фосфати у промислово оброблених харчових продуктах, значно покращує їх смак, консистенцію, поживну цінність та інші бажані якості. Понад 50% хлібобулочних виробів, м'ясних напівфабрикатів і готових страв містять фосфатні добавки, що обумовлює надходження приблизно половини щоденного споживання фосфору з харчовими добавками (Страшинський, Маринін, Грицай, & Шкірдов, 2022; Страшинський, & Грицай, 2023).

Фосфати є синтетичними добавками, які широко використовуються в м'ясних продуктах завдяки своїм функціональним властивостям, таким як вологоутримувальна здатність, здатність зміщувати ізоелектричну точку міофібрилярних білків, підвищуючи таким чином їх розчинність і потенціал екстракції, а також потужну антиоксидантну активність (Uribarri, & Calvo, 2003). Фосфатні препарати використовують для зменшення втрат при варінні, уповільнення окислення ліпідів, збереження властивостей кольору та текстури (Uribarri, & Calvo, 2013). Завдяки своєму впливу фосфати є важливими добавками у технології м'ясопродуктів, а зниження рівня фосфатів або їх повної заміни вважається складним завданням (Страшинський, & Грицай, 2023).

З точки зору медико-біологічних особливостей неорганічні фосфатні харчові добавки являють собою джерело швидко та ефективно засвоюваного фосфату, сприяючи високому загальному споживанню фосфату, яке зазвичай перевищує харчові потреби та щоденні рекомендовані споживання для дорослого населення в 2—3 рази (Uribarri, & Calvo, 2003). Важливим фактом є те, що природний органічний фосфат у харчових продуктах, пов'язаний з білком, ліпідами та іншими природними компонентами їжі, відрізняється від фосфату в харчових добавках швидкістю та ефективністю, з якою фосфат поглинається та раптово підвищує концентрацію в сироватці, тоді як неорганічний фосфор у харчових добавках швидше і повніше засвоюється, оскільки не залежить від швидкості травлення (Страшинський, & Грицай, 2023). Неорганічні фосфатні добавки або фосфатні солі (але меншою мірою, органічні фосфатні добавки, пов'язані з холіном і моно та дикрохмалями) вивільняють фосфат швидше, ніж природні органічні фосфати в м'ясі та інших харчових продуктах з мінімальною обробкою. Гостре оральне навантаження неорганічними фосфатними добавками може представляти велике навантаження фосфатів, значною мірою підвищуючи концентрацію сироватки після прийому їжі та гостро збільшуючи потенціал порушення гормональних механізмів, які покладаються на підтримку гомеостазу фосфатів (Uribarri, & Calvo, 2013). Неорганічні фосфати швидко й ефективно всмоктуються, а підвищений вміст фосфатів у сироватці крові може призвести до негативних кардіоренальних ефектів або безпосередньо через кальцифікацію тканин і судин, або опосередковано через вивільнення мінерально-регулюючих гормонів, паратиреоїдного гормона та фактора росту фібробластів-23 (Câmara та ін., 2020).

Фосфор відіграє вирішальну роль у профілактиці мінеральних розладів кісток і регуляції кислотно-лужного балансу в рідинах і тканинах. Крім того, він міститься в молекулярній структурі ферментів, клітинних мембранах і генетичному матеріалі ДНК і РНК (Uribarri, 2007). Однак відомо, що гіперфосфатемія, яка визначається як надмірне споживання фосфатів з їжею, може завдати шкоди здоров'ю певної групи споживачів, зокрема, людей із захворюваннями нирок, через що порушується здатність до виведення фосфатів (Страшинський, & Грицай, 2023; Benini, D'Alessandro, Gianfaldoni, & Cupisti, 2011). Висока концентрація фосфату в сироватці також є незалежним фактором схильності до коронарного синдрому (Страшинський, & Грицай, 2023; Ritz, Hahn, Ketteler, Kuhlmann, & Mann). Наведені ризики обумовлюють зміну складу м'ясних продуктів для зниження рівня фосфатів.

Мета статті: дослідити вплив заміни харчових фосфатів у технології м'ясних посічених напівфабрикатів для забезпечення повної реалізації функціонально-технологічних властивостей основної сировини та мінімальних втрат маси м'ясних фаршевих систем при термообробленні на зразках котлет, виготовлених за традиційною технологією.

Матеріали і методи. Використано розроблений безфосфатний комплекс активних стабілізаторів (БКАС), до складу якого входить «Амідин» 0,8%, карбонат калію 0,39% та цитрат натрію 0,21% до маси м'ясної сировини взамін рекомендованих 0,3% триполіфосфату для контрольного зразка (Страшинський, & Грицай, 2024).

Визначення функціонально-технологічних властивостей модельних систем, напівфабрикатів і готової продукції проводили за стандартними методиками з використанням відповідного устаткування. Масову частку вологи визначали шляхом висушування дослідних зразків у сушильній шафі при t=103±2 °С (Сухенко, Жеплінська, Пасічний, & Тимошенко, 2019).

Визначення pH фаршу та готових виробів проводили на лабораторному pH-метрі. Величину pH визначали у водяній витяжці, отриманій при екстрагуванні фаршу сирого або готового продукту у співвідношенні з розчинником (водою) 1:10. Вироби до термічної обробки зважували на технічних вагах з точністю 0,01 г. Після термічної обробки вироби охолоджували і зважували.

Вологозв'язувальну здатність (ВЗЗ) визначали методом пресування за Р. Грау та Р. Хамма в модифікації В. П. Воловинської та Б. Я. Кельмана.

Вміст зв'язаної вологи розраховували за формулами:

$$ВЗЗ_m = (А – 8,4Б) \cdot 100/m_0; \quad (1)$$

$$ВЗЗ_a = (А – 8,4Б) \cdot 100/А, \quad (2)$$

де $ВЗЗ_m$ — вміст зв'язаної вологи, % до маси продукту; $ВЗЗ_a$ — вміст зв'язаної вологи, % до загальної вологи; А — загальний вміст вологи в наважці, мг; Б — площа вологої плями, $см^2$; m_0 — маса наважки, мг.

Для визначення пластичності використовували результати, отримані при визначенні вологозв'язувальної здатності методом пресування (Пасічний, 2001). Вологоутримувальну здатність (ВУЗ) визначали за кількісним вмістом води, що утримується дослідним зразком після термічної обробки. Жироутримувальну здатність (ЖУЗ) визначали як різницю між вмістом жиру у фарші і кількістю жиру, що виділився в процесі термічної обробки.

Викладення основних результатів дослідження. З огляду на особливості технології виробництва м'ясних посічених напівфабрикатів споживачі розрізняють два види котлет. Перший вид — це котлети за традиційною технологією, в якій за рахунок більшого подрібнення м'ясної сировини дещо вища вологозв'язувальна та емульгуюча здатність м'ясної фаршевої системи. Це позитивно впливає на однорідність і структурно-механічні властивості та вихід доведених до кулінарної готовності виробів.

Другим видом м'ясних посічених напівфабрикатів є котлета-бургер, що в процесі термооброблення має більші втрати вологи та жиру, на розрізі видимі частки основної сировини за рахунок подрібнення м'ясної сировини до розміру видимих часток та внесенні в систему жирної сировини після того, як сформована загальна основа тонкої емульсії фаршу. Це унеможливлює повне зв'язування жиру з м'язовими білками та утворення в готовому продукті системи «білок у жирі».

Згідно з рецептурою, наведеною в табл. 1, для виготовлення посічених напівфабрикатів котлета «Домашня куряча» використали м'ясо куряче червоне, свинину напівжирну, шкурку курячу, манку, цибулю, сіль кухонну, вологу, смако-ароматичні добавки. В процесі виробництва традиційних котлет важливим є доведення системи в процесі складання фаршу до максимальної однорідності, тому рецептурою передбачено додавання до м'ясної сировини нем'ясних компонентів — круп, хлібобулочних виробів, сухарів тощо.

Таблиця 1. **Рецептури контрольного і дослідних зразків котлет «Домашня куряча»**

Сировина	Кількість
Основна сировина, %	
М'ясо куряче червоне	40
Свинина напівжирна	30
Шкурка куряча	15
Манка	2
Цибуля	13
Допоміжна сировина, г	
Сіль кухонна	1200
Фосфати (для контрольного зразка)	300
Безфосфатний комплекс активних стабілізаторів (БКАС) (для дослідних зразків)	1400
Цукор	150
Перець чорний	150
Перець духмяний	50
Перець червоний	50
Часник свіжий	500
Волога	15000
Інгредієнти для панірування (на 100 кг)	
Панірувальні сухарі пшеничні	1,5
Модифікований кукурудзяний крохмаль	1,5
Модифікований пшеничний крохмаль	1,0
Борошно з пшениці твердих сортів	4,0
Рисове борошно	2,0
Волога	10,0

Технологічний процес виробництва посічених напівфабрикатів типу котлет відпрацьовано в лабораторії кафедри технології м'яса і м'ясних продуктів та ПНДЛ НУХТ. Процес передбачає такі етапи: підготовка та подрібнення м'ясної сировини, приготування м'ясного фаршу, формування напівфабрикатів, теплова обробка, реалізація. Для досліджень впливу на м'ясну фаршеву систему розробленого безфосфатного комплексу активних стабілізаторів (БКАС) сировину двічі подрібнювали на м'ясорубці з діаметром отворів 5—6 мм, перемішували, вносили БКАС і кухонну сіль у вигляді розчину. На нашу думку, додавання розчину цих інгредієнтів є найбільш доцільним, оскільки надає можливість видалення нерозчинних домішок (використання операції проціджування) і сприяє їх рівномірному розподілення в м'ясній системі.

Слід зауважити, що сіль є не тільки смаковим компонентом, але, як і БКАС, забезпечує збільшення розчинності м'язових білків — основних компонентів м'ясної емульсії, сприяє підвищенню стійкості під час зберігання, тому готовий фарш котлет залишали на експозицію протягом 20—30 хв. Внесена в цій технологічній системі волога є розчинником солей і білків, формує реологічні властивості фаршу, збільшує соковитість і вихід готової продукції.

Рецептура суміші для панірування на 100 кг виготовлених котлет включала в себе гідроколоїди, модифікований кукурудзяний крохмаль, модифікований пшеничний крохмаль, борошно з пшениці твердих сортів, рисове борошно, воду та панірувальні сухарі.

Якщо технологічним процесом не передбачене тривале зберігання, то котлети можна охолоджувати за температури 0...6 °С до температури в товщі не вище 8 °С. Для тривалого зберігання проводять заморожування за температури не вище — 18 °С протягом 3 год або за –25...–35 °С протягом 1 год до температури в товщі не вище — 10 °С.

На підставі результатів аналізу рецептури та технологічного процесу виробництва м'ясних посічених напівфабрикатів з використанням м'яса птиці проведені дослідження та визначено вплив класичних способів теплової обробки — смаження, відварювання на парі та запікання охолоджених котлет, на характеристики готових виробів у разі використання в мережі підприємств швидкого обслуговування.

Технологічний процес смаження м'ясних посічених напівфабрикатів використовується як для масового харчування безпосередньо перед відпусканням, так і споживачами в домашній кухні. Напівфабрикати викладають на жарильну поверхню чи сковороду, попередньо розігріту до температури 150...160 °С, обсмажують протягом 3—5 хв з обох боків до утворення рум'яної скоринки, далі доводять до стану кулінарної готовності в жарильній шафі за температури 250...280 °С протягом 5—7 хв.

Наступним методом теплової обробки м'ясних посічених напівфабрикатів до кулінарної готовності є обробка на пару. Для цього їх викладають одним шаром у перфоровані функціональні ємкості так, щоб вироби не стикалися між собою. Варіння здійснюють у пароварних шафах і пароконвектоматах.

Запікання дослідних зразків котлет проводять 25...35 хв у попередньо розігрітій до температури 230...280 °С духовці до утворення добре підсмаженої скоринки.

Температура кулінарної готовності в товщі виробів для м'ясних посічених натуральних напівфабрикатів має становити 85 °С.

У процесі дослідження використано інноваційний технологічний підхід з використанням пароконвектомату, за якого на основі «універсального» напівфабрикату з м'ясної посіченої маси завдяки різним режимам обробки можна отримати широкий асортимент готової кулінарної продукції (Большакова, Дроменко, Онищенко, & Янчева, 2019).

В Україні пароконвекційні печі вже встигли посісти важливе місце на кухнях ресторанів, кафе, їдалень і комбінатів харчування. Пароконвекційна піч є професійним тепловим обладнанням, яке використовує пару і конвекцію в різних поєднаннях для приготування їжі. Пароконвекційні печі прості в експлуатації й дуже економні. Виконуючи близько 70% усіх можливих операцій теплової обробки продуктів, пароконвекційні печі можуть замінити велику кількість теплового обладнання. Час приготування їжі в пароконвекційній печі приблизно на 15% менший, ніж на традиційному тепловому обладнанні. Крім того, це обладнання знижує витрати електроенергії, швидко включаючись у робочий режим і абсолютно не витрачаючи енергію між циклами роботи. Їжа, приготована в пароконвекційній печі, максимально зберігає всі корисні речовини, що відповідає сучасним трендам нутриціології. Принцип роботи пароконвектоматів ґрунтується на процесах конвекції й пароутворення. Конвекція всередині робочої камери виникає під час циркуляції гарячого повітря під дією працюючого вентилятора. Завдяки герметичності робочої камери, вентилятор утягує циркулююче повітря і багаторазово проганяє його через ТЕН, що забезпечує швидке нагрівання робочої зони камери пароконвектомата до потрібної температури. Температура контролюється термостатом. Перевагами приготування виробів і страв у пароконвектоматі є рівномірність теплової обробки, використання гастроємностей, що сприяє максимальній механізації й автоматизації процесів.

У табл. 2 наведено втрати маси доведених до кулінарної готовності контрольного і дослідних (з використанням БКАС) зразків напівфабрикатів, які направляли на оброблювання в охолодженому виді, залежно від параметрів і способів теплової обробки з використанням пароконвектомата.

Таблиця 2. **Вплив технологічних параметрів і способів теплової обробки напівфабрикатів на втрати маси**

№ пп	Назва напівфабрикату за обробкою	Спосіб теплової обробки	Параметри середовища		Тривалість, процесу, хв	Зразок	Втрати маси після теплової обробки, %
			Температура, °С	Атмосферна волога			
1.	Котлети дієтичні	Варіння на парі	100	Пара 90%	10...15	К1	11
						Д1	10
2.	Котлети класичні	Смаження	220...230	Видалення вологи 40%	10...15	К2	13
						Д2	12
3.	Котлети запечені	Запікання	240...250	Видалення вологи 60%	10	К3	15
						Д3	14

Примітка: К1, К2 і К3 — контрольні зразки з використанням фосфатів; Д1, Д2 і Д3 — дослідні зразки з використанням розробленого БКАС.

Втрати при приготуванні — це загальна кількість рідких і розчинних речовин, втрачених з м'яса під час термічної обробки, які залежать від процесу масообміну під час термічної обробки. З наведених даних можна зробити висновок про те, що всі зразки дослідних груп характеризують нижчі втрати маси після теплової обробки, ніж зразки контрольної групи.

Водночас втрати маси при приготуванні посічених напівфабрикатів пов'язані з крапельними втратами, включаючи втрату вологи з іншими поживними речовинами, які збільшуються з підвищенням температури, що відповідає результатам досліджень інших авторів (Biyikli, Akoğlu, Kurhan, & Akoğlu, 2020). Однак, залежно від м'ясного білка та стадії його денатурації, на яку впливають як температура, так і час обробки, вплив на втрати при приготуванні може бути як позитивним, так і негативним. Втрати при кулінарній обробці в основному визначаються скороченням міофібрилярних білків (40...60 °C), скороченням колагену (60...70 °C), денатурацією актину (70...80 °C) (Haghighi, 2021), а також визначаються вмістом води та жиру в м'ясі (Karpinska-Tymoszczyk, Draszanowska, Danowska-Oziewicz, & Kurp, 2020).

Теплова обробка спричинює хімічні зміни в м'ясопродуктах і підвищує засвоюваність їжі. Так, під час теплової обробки тваринні і рослинні білки денатуруються, крохмаль клейстеризується, продукти розм'якшуються, утворюються нові смакові речовини, які впливають на виділення травних соків і, отже, на підвищення засвоюваності їжі. Теплова обробка також знезаражує продукти, оскільки при високій температурі гинуть мікроорганізми і їх спори, руйнуються токсини. Одночасно з позитивною дією вона спричинює й негативні зміни: руйнуються окремі поживні речовини, мінеральні солі, розчинні у воді вітаміни, випаровуються ароматичні речовини, втрачається природний колір м'ясопродуктів.

Визначено вплив способу теплового оброблення на функціонально-технологічні властивості (ВЗЗ, ВУЗ, ЖУЗ, активну кислотність pH та пластичність) м'ясних фаршевих систем з використанням фосфатних препаратів (контрольні зразки К1, К2 і К3) та з використанням БКАС (дослідні зразки К1, К2 і К3) згідно з рекомендованими нормами. Результати досліджень наведено в табл. 3.

Таблиця 3. **Характеристики доведених до кулінарної готовності посічених напівфабрикатів-котлет**

Назва зразка	Спосіб теплової обробки	ВЗЗ, %	ВУЗ, %	ЖУЗ, %	pH	Вміст жиру, %	Пластичність, $см^2 \cdot кг/г$
К1	Варіння на парі	82,9±1,2	65,2±1,1	63,6±0,9	6,23±0,11	26,3±0,6	534,3±11,2
Д1		84,8±1,7	67,3±0,9	67,4±1,1	6,29±0,09	26,5±0,3	499,6±7,4
К2	Смаження	85,4±1,1	70,1±1,3	69,7±1,3	6,31±0,06	26,2±0,4	479,6±8,3
Д2		85,8±1,4	71,9±1,1	70,5±1,5	6,35±0,08	25,8±0,5	438,2±9,3
К3	Запікання	84,9±1,5	73,2±1,4	72,1±1,1	6,33±0,09	25,1±0,6	420±,3,8
Д3		86,7±1,3	75,3±1,2	73,3±0,9	6,41±0,10	24,2±0,5	412,2±6,8

З наведених результатів можна зробити висновок про те, що всі зразки дослідних груп незалежно від способів теплової обробки проявили вищі функціональні характеристики, ніж зразки контрольної групи. Це відповідає результатам, наведеним у табл. 2, та проведеним дослідженням при розробленні БКАС з вмістом

0,39% карбонату калію, 0,3% цитрату натрію і складає 8% при значенні «Амідину» 0,8%. Оскільки сильна денатурація білків, скорочення м'язових волокон і розчинення колагену в м'ясі та м'ясних продуктах відбуваються при більш високих температурах, при менших температурах більше вологи залишається зв'язаною з м'язовою тканиною м'яса, що призводить до отримання соковитих продуктів.

Висновки

Теплова обробка зумовлює дегенерацію міофібрилярних, саркоплазматичних білків і білків сполучної тканини, призводить до структурних змін у м'ясі, модифікує структурно-механічні властивості. Проведені дослідження довели перевагу використання розробленого БКАС у дослідних зразках порівняно з контрольними, які містять у складі фосфатні препарати. Це підтверджено зменшенням втрат маси при використанні різних способів теплової обробки м'ясних посічених напівфабрикатів (котлет) і відповідає результатам визначення функціонально-технологічних досліджень ВЗЗ, ВУЗ, ЖУЗ.

Література

Большакова, В. А., Дроменко, О. Б., Онищенко, В. М., Янчева, М. О. (2019). Удосконалення технологічного процесу виробництва посічених напівфабрикатів із м'яса птиці (нагетсів). *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: зб. наук. пр.*, 2(30), 47—59. DOI: 10.5281/zenodo.3592827.

Пасічний, В. М. (2001). *Оптимізація технологічних процесів галузі*: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт. Київ, НУХТ.

Страшинський, І. М., Грицай, М. С. (2023). Особливості застосування замінників неорганічних фосфатів у технології виробництва м'ясопродуктів. *Харчова промисловість*, 33—34, 25—35. DOI: 10.24263/2225-2916-2023-33-34-5.

Страшинський, І. М., Грицай, М. С. (2024). Розробка комплексу нефосфатних вологоутримуючих добавок на основі активних стабілізаторів м'ясних систем. *Вісник Львівського торговельно-економічного університету*, 37, 71—79. DOI: 10.32782/2522-1221-2024-37-10.

Страшинський, І., Маринін, А., Грицай, М., & Шкірдов, Д. (2022). Перспективні технології альтенативної заміни фосфатних препаратів у м'ясопродуктах. *Scientific Collection «InterConf+»*, 13(109), 287—296. https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.05.2022.036.

Сухенко, Ю. Г., Жеплінська, М. М., Пасічний, В. М., Тимошенко, І. В. (2019). *Оптимізація виробничих процесів*. Київ: Фірма «ІНКОС».

Alirezalu Kazem, Hesari Javad, Nemati Zabihollah, Munekata Paulo E.S., Barba Francisco J., Lorenzo Jose M. (2019). Combined effect of natural antioxidants and antimicrobial compounds during refrigerated storage of nitrite-free frankfurter-type sausage. *Food Research International*, 120, 839—850.

Benini, O., D'Alessandro, C., Gianfaldoni, D., Cupisti, A. (2011). Extra-phosphate load from food additives in commonly eaten foods: a real and insidious danger for renal patients. *J. Ren. Nutr*., 21(4), 303—8. DOI: 10.1053/j.jrn.2010.06.021.

Biyikli Merve, Akoğlu Aylin, Kurhan Şebnem, Akoğlu İlker Turan. (2020). Effect of different Sous Vide cooking temperature-time combinations on the physicochemical, microbiological, and sensory properties of turkey cutlet. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 20, 100204 DOI: 10.1016/j.ijgfs.2020.100204.

Calvo, M. S., Sherman, R. A., Uribarri, J. (2019). Dietary Phosphate and the Forgotten Kidney Patient: A Critical Need for FDA Regulatory Action. *Am. J. Kidney Dis.*, 73, 542—551. DOI: 10.1016/j.foodres.2023.112624.

Câmara Ana Karoline Ferreira Ignácio, Vidal Vitor André Silva, Santos Mirian, Bernardinelli Oigres Daniel, Sabadini Edvaldo, Pollonio Marise Aparecida Rodrigues. (2020). Reducing phosphate

in emulsified meat products by adding chia (*Salvia hispanica L.*) mucilage in powder or gel format: A clean label technological strategy. *Meat Science*, 16. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108085.

Choe Jeehwan, Lee Juri, Jo Kyung, Jo Cheorun, Song Minho, Jung Samooel. (2018). Application of winter mushroom powder as an alternative to phosphates in emulsion-type sausages. *Meat Science*, 143, 114—118. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.04.038.

Choi, Y. M., Jung, K. C., Jo, H. M., Nam, K. W., Choe, J. H., Rhee, M. S., Kim, B. C. (2014). Combined effects of potassium lactate and calcium ascorbate as sodium chloride substitutes on the physicochemical and sensory characteristics of low-sodium frankfurter sausage. *Meat Science*, 96(1), 21—25. DOI: 10.1016/j.meatsci.2013.06.022. doi: 10.1016/j.foodres.2018.11.048.

Haghighi, H., Belmonte, A. M., Masino, F., Minelli, G., Lo Fiego, D. P., & Pulvirenti, A. (2021). Effect of time and temperature on physicochemical and microbiological properties of sous vide chicken breast fillets. *Applied Sciences*, 11(7). https://doi.org/10.3390/app11073189.

Karpinska-Tymoszczyk, M., Draszanowska, A., Danowska-Oziewicz, M., & Kurp, L. (2020). The effect of low-temperature thermal processing on the quality of chicken breast fillets. *Food Science and Technology International*, 26(7), 563—573. DOI: 10.1177/1082013220912592.

Lorenzo, J. M., Bermúdezoberto, R., Domínguez, R., Guiotto, A., Franco, D., Purriños, L. (2015). Physicochemical and microbial changes during the manufacturing process of dry-cured lacón salted with potassium, calcium and magnesium chloride as a partial replacement for sodium chloride. *Food Control*, 50, 763—769. DOI: 10.1016/j.foodcont.2014.10.019.

Molina, R. E., Bohrer, B. M., Mejia, S. M. V. (2023). Phosphate alternatives for meat processing and challenges for the industry: A critical review. *Food Res. Int.*, 166, 112624.

Ritz, E., Hahn, K., Ketteler, M., Kuhlmann, M. K., Mann, J. (2012). Phosphate additives in food — a health risk. *Dtsch Arztebl Int.*, 109(4),49—55. DOI: 10.3238/arztebl.2012.0049.

Sebranek, J. G., Bacus, J. N. (2007). Cured meat products without direct addition of nitrate or nitrite: what are the issues? *Meat Science*, 77(1), 136—147. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.03.025.

Uribarri, J. (2007). Phosphorus homeostasis in normal health and in chronic kidney disease patients with special emphasis on dietary phosphorus intake. *Semin Dial.*, 20(4), 295—301. DOI: 10.1111/j.1525-139X.2007.00309.x.

Uribarri, J., Calvo, M. S. (2003). Hidden sources of phosphorus in the typical American diet: Does it matter in nephrology? *Semin. Dial.*, 16, 186—188. DOI: 10.1046/j.1525-139x.2003.16037.x.

Uribarri, J., Calvo, M. S. (2013). Introduction to dietary phosphorus excess and health. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 1301, iii–iv. DOI: 10.1111/nyas.12302.

Volk, C., Schmidt, B., Brandsch, C., Kurze, T., Schlegelmilch, U., Grosse, I., Ulrich, C., Girndt, M., Stangl, G. I. (2022). Acute Effects of an Inorganic Phosphorus Additive on Mineral Metabolism and Cardiometabolic Risk Factors in Healthy Subjects. *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, 107, e852—e864. DOI: 10.1210/clinem/dgab635.

УДК 66.08:636

PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF PIG FAT DEPENDING ON THE INFLUENCE OF IRON CHELATE COMPOUNDS

M. Paska, M. Khromova
Lviv State University of Physical Culture named after Ivan Boberskyj

Key words:
Fat
Quality
Pig
Evaluation
Chelates
Iron
Fat

Article history:
Received 07.11.2024
Received in revised form 21.11.2024
Accepted 09.12.2024

Corresponding author:
M. Paska
E-mail:
maria_pas@ukr.net

Citation: Паска М. З., Хромова М. В. (2024). Фізико-хімічні властивості якості сала свиней залежно від впливу хелатних сполук заліза. *Наукові праці НУХТ*, 30(6), 143—148.
DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-6-14

ABSTRACT

The problem of finding reserves to increase pork production, improve its quality and reduce its cost is especially important in the context of the establishment of market relations in the agricultural sector of Ukraine economy. The modern concept of "pork quality" goes beyond a purely biological understanding and covers a wider range of interrelated technological factors that determine the final result of the consumer choice of product. The biological value of pig fat is due to the high content of essential polyunsaturated fatty acids, especially arachidonic acid, which is absent in vegetable oils and is not synthesized by the human body. In addition, this product contains vitamin F (the sum of balanced arachidonic, linoleic and linolenic acids) and the trace element selenium, which have a positive effect on capillary permeability, vascular tone, liver function and are important components in strengthening the immune system and lipid metabolism of the human body.

There are relatively inexpensive feed additives based on natural minerals, which include trace elements and amino acids. The balance of diets in terms of biologically active substances remains an important factor affecting animal productivity. It has been proven that the use of chelated compounds of trace elements as a feed additive provided better assimilation of metals than when they were introduced into the diet in inorganic form, which in turn contributed to achieving higher productivity in animals, as well as reducing feed costs per unit of production. A comparative effect of various iron compounds on the physicochemical and technological indicators of pig fat (mass fraction of moisture, iodine number, refractive index, melting point) is presented in the article. The best data were obtained when the diet was corrected with chelated iron compounds (methionates and lysinates).

DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-6-14

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ САЛА СВИНЕЙ ЗАЛЕЖНО ВІД ВПЛИВУ ХЕЛАТНИХ СПОЛУК ЗАЛІЗА

М. З. Паска, М. В. Хромова
Національний університет харчових технологій

Проблема пошуку резервів збільшення виробництва свинини, покращення її якості і зниження собівартості особливо важливого значення набуває в умовах становлення ринкових відносин в аграрному секторі економіки України. Сучасне поняття «якості свинини» виходить за рамки суто біологічного розуміння та охоплює ширший спектр взаємопов'язаних технологічних факторів, що визначають остаточний результат вибору продукту споживачем. Біологічна цінність сала свиней обумовлена підвищеним вмістом незамінних поліненасичених жирних кислот, особливо арахідонової, яка відсутня в рослинних оліях і не синтезується організмом людини. Крім того, продукт містить вітамін F (сума збалансованих арахідонової, лінолевої та ліноленової кислот) і мікроелемент селен, що позитивно впливають на проникність капілярів, тонус судин, стан печінки і є важливими компонентами у зміцненні імунної системи та ліпідного обміну організму людини.

Сьогодні існують порівняно недорогі кормові добавки на основі природних мінералів, до складу яких входять мікроелементи та амінокислоти. Збалансованість раціонів за біологічно активними речовинами залишається важливим фактором, який впливає на продуктивність тварин. Доведено, що застосування як кормової добавки хелатних сполук мікроелементів забезпечує кращу асиміляцію металів, ніж за введення їх у раціон в неорганічній формі, що, своєю чергою, сприяє досягненню більш високої продуктивності у тварин, а також зниженню витрат кормів на одиницю продукції.

У статті наведено порівняльний вплив різних сполук заліза на фізико-хімічні й технологічні якості сала свиней (масова частка вологи, йодне число, число рефракції, температура плавлення). Кращі дані одержано за корекції раціону хелатними сполуками заліза (метіонатів і лізинатів).

Ключові слова: *сало, якість, свині, оцінка, хелати, залізо, жири.*

Постановка проблеми. Жири тваринного походження є необхідними компонентами раціону харчування людини. Вони відіграють важливу роль в регуляції обміну речовин, депонують енергію, виконуючи захисну функцію організму, транспортують і розчиняють вітаміни, гормони, простагландини (Цигура, 2015). Останні дослідження дієтологів і вчених свідчать про те, що сало є одним з найкорисніших продуктів повсякденного харчування. Так, залежно від способу відгодівлі свиней, сало містить від 88 до 94% чистого жиру, який засвоюється не гірше, ніж молочний і риб'ячий. Науково доведено (Бірта та ін. 2021; Чижанська, & Поліщук, 2021; Вугляр, 2020), що сало містить чимало корисних речовин, які необхідні людському організму. Насамперед арахідонову кислоту, яка належить до цінних ненасичених жирів та бере участь в утворенні багатьох гормонів, а отже, в холестериновому обміні, побудові клітинних мембран та роботі серцевого м'яза (Wood et al., 2008). Сало містить у собі всі незамінні аміно- і жирні кислоти. Су-

часною медициною доведено, що сало сприяє виведенню з організму радіонуклідів і тому рекомендується з профілактичною метою, особливо в екологічно несприятливих зонах, щоденно споживати його жінкам по 45—50, а чоловікам — по 65—70 г (Бірта, Бургу, Ткаченко, & Флока, 2023).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Свинарство є важливою галуззю національної економіки, яка забезпечує населення продуктами харчування, переробну промисловість — сировиною, а також сприяє створенню необхідних державних резервів тваринницької продукції, інтенсивному використанню земельних ресурсів. Промислова технологія виробництва свинини зумовлює підвищену потребу тварин у вітамінах, біологічно активних речовинах, макро- та мікроелементах (Бондарська та ін., 2023). Серед них важливе місце займають мінеральні речовини, що є каталізаторами і кофакторами багатьох процесів, сприяють зниженню втрат основних поживних речовин корму, пов'язаних з процесом конверсії їх у речовини тіла та продукцію (Кулібаба, Долгая, Ємельянова, & Гончаренко, 2017; Gowanlock, Mahan, Jolliff, Moeller, & Hill, 2013). Останнім часом усе більшим попитом користуються хелатні сполуки мікроелементів як кормові добавки в раціони птиці, свиней і великої рогатої худоби (Усенко та ін. 2019; Chornyi, Cilinska, Shchepetilnikov, & Machula, 2018). Мікроелементи хелатного комплексу відзначаються біологічно активною формою, завдяки чому досягається їх висока засвоюваність (95—100%) (Огороднічук, 2024; Jun, & Farionik, 2023). За рахунок поступового розриву хелатних зв'язків препарати виявляють пролонговану дію. При відщепленні мікроелементів білкові ліганди ефективно використовуються організмом. Усе це надає можливість зменшувати дози мікроелементів у десятки разів, позитивно вирішувати екологічні й економічні проблеми (Ohorodnichuk, Razanova, Skoromna, & Farionik, 2023; Panda, & Lal, 2018). Надлишок, нестача чи порушення оптимального співвідношення між усіма необхідними компонентами раціону, тобто вплив аліментарних факторів, спричинює патологічні зміни в організмі тварин (Pohorilska, & Farionik, 2023).

До останнього часу компенсація дефіциту заліза в раціонах свиней здійснювалась за рахунок різних за складом неорганічних сполук, які часто досить важко засвоюються організмом тварин. Біологічна доступність заліза з цих сполучень невелика, тому доцільним є вивчення використання різних сполук і доз заліза як засобу, що покращує якість мінеральних добавок і водночас дає змогу цілеспрямовано впливати на обмін речовин у тварин з метою підвищення продуктивності та покращення якості тваринницької продукції (Мироненко, & Усачова, 2022; Подхалюзіна та ін., 2020).

В статті наведено результати аналізу даних жирнокислотного складу сала за умов використання різних сполук і доз заліза у раціонах свиней. Застосування хелатних добавок, які використовують у раціонах тварин, з метою підвищення їх продуктивності, впливає на якість продукції, зокрема на жирнокислотний склад жиру свиней, від якого залежать фізико-хімічні й технологічні властивості продуктів харчування. Описується роль насичених і поліненасичених жирних кислот в організмі людини й тварин, які відіграють надзвичайно важливу роль в обміні речовин. Узагальнюються дані про їх вміст у салі та продукції свинарства як в основному джерелі цих речовин у харчуванні людини. Розглядається значення збалансованого споживання поліненасичених жирних кислот у раціоні людей, що сприяє профілактиці різних захворювань, а також наводиться огляд результатів

досліджень впливу різних кормових засобів на жирно кислотний склад продукції свинарства, тому що на вміст окремих жирних кислот, які не синтезуються в організмі тварин, впливає якість кормів і наявність жирних кислот у ліпідах кормах, що визначають якісні показники продуктів харчування для людей. Одним із пріоритетних напрямів збільшення виробництва свинини в сучасних господарсько-економічних умовах є розробка, випробовування і використання в годівлі тварин нових видів біологічно-активних препаратів (зокрема сполуки заліза), які підвищують перетравність поживних речовин раціонів за рахунок ферментації важко засвоюваних компонентів раціону.

Мета дослідження: вивчення фізико-хімічного складу підшкірного сала молодняку свиней великої білої породи при згодовуванні різних сполук і доз заліза.

Матеріали і методики. Для проведення досліду було сформовано чотири групи тварин: одна контрольна і три дослідні, по 10 голів у кожній групі. Підбір тварин у групи проводили за методом груп-аналогів з урахуванням віку, живої маси та інтенсивності росту за підготовчий період. Тварини контрольної групи отримували основний раціон (ОР). Поросята І дослідної групи отримували ОР з добавками сірчанокислого заліза у дозі 0,8 мг/кг маси тіла; ІІ — ОР з добавками метіонату заліза у дозі 0,4 мг/кг маси тіла; ІІІ — ОР з добавками лізинату заліза у дозі 0,4 мг/кг маси тіла.

Вміст загальної вологи в салі визначали висушуванням при температурі 100—105 °С до постійної маси. У салі також визначали число рефракції, йодне число і температуру плавлення.

Викладення основних результатів дослідження. Жирова тканина — це енергетичне депо в організмі, другий після м'язів морфологічний компонент. Вона виконує в організмі тварин трофічну (запас енергії та води), механічну, амортизаційну й терморегуляторну функції, тому бере участь в утворенні підшкірної клітковини, прошарків міжм'язової тканини, навколо кровоносних судин і внутрішніх органів. За місцем відкладання виділяють жир — підшкірний (шпик) і внутрішній. Що стосується хімічного складу, то жир тварин є сумішшю складних ефірів і жирних кислот (Бірта, Бургу, Ткаченко, & Флока, 2023). Смакові якості й технологічні властивості сала значною мірою залежать від його хімічного складу і фізико-хімічних властивостей жиру, на які впливають багато факторів: порода, вік, умови годівлі тощо. Наявність жирових прошарків значно підвищує смакові якості продукту, проте надлишкова кількість — знижує засвоєння і зменшує кількість білка.

Фізико-хімічні показники якості сала свиней, що отримували різні сполуки заліза (масова частка вологи, йодне число, число рефракції), наведені в табл. 1.

Таблиця 1. **Фізико-хімічні показники якості сала**, M±m, n=10

Група тварин	Йодне число	Загальна волога, %	Число рефракції
Контрольна	59,22±0,203	6,58±0,32	1,456±0,0003
І	59,36±0,335	6,37±0,35	1,456±0,0003
ІІ	60,81±0,279	6,13±0,36	1,459±0,0006
ІІІ	60,99±0,417	5,79±0,39	1,460±0,0009

Одним із важливих якісних показників сала є його вологоємність — кількість у м'ясі зв'язаної або слабозв'язаної води. Проаналізувавши дані табл. 1, ми помітили зменшення кількості загальної вологи у всіх дослідних групах на 0,21% в

першій, 0,45% — другій та 0,79% в третій групі порівняно з контролем. Причому таке зменшення у II та III дослідних групах було статистично ймовірним ($p<0,05$—0,02).

Йодне число дає уявлення про ступінь ненасиченості жиру, його здатності до висихання, прогоркання та інші змін, що відбуваються при зберіганні і переробці жирів. Цей показник був дещо вищим у тварин піддослідних груп, ніж у контрольній, однак достовірної різниці не встановлено.

Число рефракції сала було практично однаковим у свиней всіх досліджуваних груп. Так, число рефракції у тварини, що отримували сірчанокисле залізо, становило 1,456, в II дослідній групи — 1,459, III — 1,460. Але достовірної різниці за цим показником не виявлено.

Показник температури плавлення характеризує смакові якості і харчову цінність сала, що залежить від рівня його засвоєння організмом людини. Жири з низькою температурою плавлення, що не перевищує +37 °С (температури людського тіла), мають здатність найбільш повно та швидко емульгуватися в організмі і легко засвоюватися. У той же час жири із відносно низькою температурою плавлення менш придатні для тривалого зберігання.

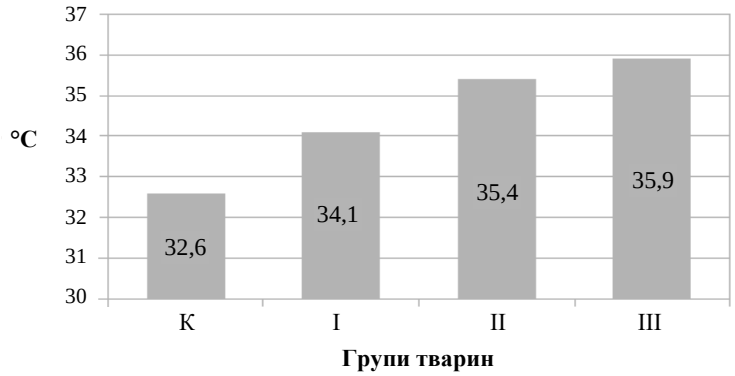


Рис.1. Температура плавлення сала свиней

Температура плавлення сала була в межах норми, однак вищою, ніж у контрольній, на 1,5 °С — I, 2,8 °С — II, 3,3 °С — III дослідній групи тварин. Це свідчить про те, що хребтове сало контрольної та I групи тварин містить більше ненасичених жирних кислот, а тому воно менш придатне до зберігання.

Висновки

Узагальнюючи одержані дані результатів вивчення фізико-хімічного складу сала свиней, можна зробити висновок, що якість шпику безпосередньо залежить від годівлі тварин. Додавання заліза до раціону у формі хелатних сполук (метіонатів і лізинатів) сприяє зниженню загальної вологості сала, порівняно з контролем, на 0,21, 0,45, 0,79% у I, II, III групах відповідно. Причому таке зменшення у II та III дослідних групах було статистично ймовірним ($p<0,05$—0,02). Підвищення температури плавлення шпику піддослідних свиней (35,4—35,9 °С), обумовлене зміною жирно-кислотного складу (краще зберігається) та стримує перегрівання організму.

Література

Бірта, Г. О., Бургу, Ю. Г., Ткаченко, А. С., & Флока, Л. В. (2023). Якісні показники хребтового сала. *Науковий вісник ПУЕТ*, 2, 31—34. https://doi.org/10.37734/2518-7171-2023-2-5.

Бірта, Г. О., Бургу, Ю. Г., Флока, Л. В., Хмельницька, Є. В., & Горячова, О. О. (2021). Забійні якості свиней різних генотипів. *Вісник СНАУ*, 4(47), 64—70. http://dspace.puet.edu.ua/handle/123456789/11624.

Бондарська, О. М. та ін. (2023). Вітчизняний та світовий ринок свинини: підсумки 2022 року та прогнози. *Таврійський науковий вісник*, 130, 307—319. DOI https://doi.org/10.32851/2226-0099.2023.130.42.

Вугляр, В. С. (2020). Показники якості свинини за умови згодовування БВМД «ЕФІПРОТ». *Вісник ПДАА*, 2, 143—148. DOI: https://doi.org/10.31210/visnyk2020.02.17.

Кулібаба, С. В., Долгая, М. М., Ємельянова, Н. С., Гончаренко, Г. О. (2017). Вплив згодовування хелатних комплексів мікроелементів на морфологічні та біохімічні показники крові корів. *Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С. З. Ґжицького*, 19, 74, 119—122. doi:10.15421/nvlvet7426.

Мироненко, О. І., & Усачова, В. Є. (2022). Вплив комплексної кормової добавки на обмін заліза в організмі поросят на дорощуванні. *Вісник ПДАА*, 2(2), 205—211. https://doi.org/10.31210/visnyk2022.02.24.

Огороднічук, Г., Загамула, В., Загамула, Ю., Трембіцький, Ю. (2024). Забійні показники та якість м'язової тканини свиней за введення до раціону препарату «Кроноцид-Л». *Науковий вісник ЛНУВМБ імені С. З. Ґжицького*, 26, 70—74. https://doi.org/10.32718/nvlvet-a10010.

Подхалюзіна, О. М., Бомко, В. С., Кузьменко, О. А. (2020). Перетравність корму та продуктивність молодняку свиней на відгодівлі за використання змішанолігандного комплексу Купруму. *Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва. Збірник наукових праць БНАУ*, 1, 118—124. https://doi.org/ 10.33245/2310-9270-2020-157-1-118-124.

Усенко, С. О. та ін. (2019). Новітні аспекти мінерального живлення свиней. *Вісник ПДАА*, 4, 126—133. https://doi.org/10.31210/visnyk2019.04.15.

Цигура, В. В. (2015). *Дослідження фізико-хімічних показників якості свинини*. Матеріали VIII Всеукр. наук.-практ. конференції молодих учених та студентів з міжнар. участю. Одеса, ОНАХТ. https://card-file.ontu.edu.ua/handle/123456789/12958.

Чижанська, Н. В., Поліщук, А. А. (2021). Жирнокислотний склад сала свиней при використанні різних кормових засобів в раціонах. *Науковий вісник ЛНУВМБ імені С. З. Ґжицького*, 96, 19—22. https://doi.org/10.32718/nvlvet-f9604.

Chornyi, M. V., Cilinska, O. I., Shchepetilnikov, Yu. O., & Machula, O. S. (2018). Vykorystannia khelatnykh kompleksiv dlia zabezpechennia zdorovia ta pidvyshchennia produktyvnosti svynei. *Veterynarna biotekhnolohiia*, 32, 313—318. https://doi.org/10.31073/vet_biotech32(1)-41.

Gowanlock, D. W, Mahan, D. C, Jolliff, J. S, Moeller, S. J., Hill, G. M. (2013). Evaluating the NRC levels of Cu, Fe, Mn, and Zn using organic and inorganic mineral sources for grower-finisher swine. *J. Anim. Sci.*, 91, 5680—5686. https://doi.org/10.2527/jas.2013-6608.

Ohorodnichuk, H., Razanova, O., Skoromna, O., & Farionik, T. (2023). Productivity and hematological indicators of pigs feeding the drug «Kronocid-L». *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Agricultural Sciences*, 25(99), 41—47. https://doi.org/10.32718/nvlvet-.

Panda, N., Lal, G. (2018). Chelated minerals and its effect on animal production: a review. *Agric. Rev.*, 39, 314—20. DOI: 10.18805/ag.R-1823.

Pohorilska, V., & Farionik, T. (2023). Ways of growth stimulation of piglets with the help of biologically active drugs. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Agricultural Sciences*, 25(98), 149—153. https://doi.org/10.32718/nvlvet-a9825.

Wood, J. D. et al. (2008). Fat deposition, fatty acid composition and meat quality. *A review. Meat Science*, 784, 343—358. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.07.019.

УДК 637.344.8

INFLUENCE OF LOW-TEMPERATURE HEATING ON THE FRACTIONAL COMPOSITION OF MILK WHEY PROTEINS

V. Yukalo, K. Datsyshyn, V. Soltys
Ternopil Ivan Puluj National Technical University

Key words:
Milk whey proteins
Fractional composition
Heating

Article history:
Received 05.11.2024
Received in revised form 21.11.2024
Accepted 09.12.2024

Corresponding author:
K. Datsyshyn
E-mail:
katkostyuk3103@gmail.com

Citation: Юкало В. Г., Дацишин К. Є., Солтис В. П. (2024). Вплив низькотемпературного нагрівання на фракційний склад білків сироватки молока. *Наукові праці НУХТ*, 30(6), 149—158.
DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-6-15

ABSTRACT

The discovery of a large number of bioactive proteins and peptides in milk by the methods of modern proteomics requires the need to review the influence of various technological factors on their biological action. One of such factors widely used in the technology of milk and dairy products is heating. Significant changes in the functional properties of milk proteins are caused by heating it to temperatures above 55—60 °C. However, heating at lower temperatures can affect the biological activity of milk proteins and peptides. This primarily concerns whey proteins, as caseins are resistant to heat. Therefore, the goal of our research was to find out the effect of short-term heating of milk whey at temperatures of 40 °C and 50 °C on the fractional composition of proteins. Whey for the research was isolated from skimmed milk with an acidity of 18 °T after isoelectric precipitation of casein at pH 4.6. Analysis of the fractional composition of whey proteins was performed using analytical disc-electrophoresis in native conditions. Comparative analysis of whey proteins was performed by express electrophoresis in polyacrylamide gel plates. Changes in the molecular weight of whey proteins were studied by gel filtration on columns with Sephadex G-25 and G-75. It was found that short-term (5 min) heating of milk whey to 40 °C at pH 4.6 did not affect the qualitative and quantitative composition of protein fractions. A slight decrease in the share of immunoglobulins from 17.5±1.2% to 15.8±1.3% was within statistical error. When whey was heated to 50 °C, the proportion of undenatured whey protein decreased for 6.1±0.9%. According to the results of electrophoresis, this was mainly due to the decrease in the proportion of immunoglobulins from 17.5±1.2% to 13.3±1.1%. Gel filtration on Sephadex G-75 showed a decrease in the proportion of proteins with molecular weights greater than 80 000 Da. This may be due to the breakdown of β-lactoglobulin octamers, which are formed at a pH value of 4.6.

DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-6-15

ВПЛИВ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОГО НАГРІВАННЯ НА ФРАКЦІЙНИЙ СКЛАД БІЛКІВ СИРОВАТКИ МОЛОКА

В. Г. Юкало, К. Є. Дацишин, В. П. Солтис
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Відкриття великої кількості біоактивних білків і пептидів у молоці методами сучасної протеоміки вимагає необхідності переглянути вплив різних технологічних факторів на їх біологічну дію. Одним із таких факторів, що широко використовуються в технології молока і молочних продуктів, є нагрівання. Помітні зміни у функціональних властивостях білків молока спричиняють його нагрівання до температур вище 55—60 °С. Проте нагрівання при нижчих температурах може впливати на біологічну активність білків і пептидів молока. Насамперед це стосується білків сироватки молока, оскільки казеїни є стійкими до нагрівання, тому метою нашого дослідження було з'ясування впливу короткотермінового прогрівання молочної сироватки при температурі 40 °С і 50 °С на фракційний склад білків.

Сироватку для дослідження виділяли зі знежиреного молока кислотністю 18 °Т після ізоелектричного осадження казеїну при значені pH 4,6. Аналіз фракційного складу білків сироватки проводили з використанням аналітичного дискелектрофорезу в нативних умовах. Порівняльний аналіз білків сироваток проводили експрес-електрофорезом у пластинках поліакриламідного гелю. Зміни в молекулярних масах білків сироватки досліджували гель-фільтрацією на колонках з сефадексами G-25 і G-75. Встановлено, що короткотривале (5 хв) прогрівання молочної сироватки до 40 °С при значенні pH 4,6 не впливає на якісний і кількісний склад білкових фракцій. Незначне зменшення частки імуноглобулінів з 17,5±1,2% до 15,8±1,3% в межах статистичної похибки. При прогріванні сироватки до 50 °С зменшується частка неденатурованого білка сироватки на 6,1±0,9%. За результатами електрофорезу це відбувається переважно завдяки зменшенню частки імуноглобулінів з 17,5±1,2% до 13,3±1,1%. Гель-фільтрація на сефадексі G-75 показала зниження частки білків з молекулярними масами більше 80 000 Да. Можливо, це пов'язано з розпадом октамерів β-лактоглобулінів, які утворюються при значені pH 4,6.

Ключові слова: *білки сироватки молока, фракційний склад, нагрівання.*

Постановка проблеми. Методами сучасної протеоміки в сироватці коров'ячого молока відкрито близько тисячі різних білків і поліпептидів. Для багатьох з них встановлені біологічні функції, що дає змогу по-новому сформулювати поняття біологічної цінності для цих білків (Fox, 2015), тому актуальним є подальше дослідження дії такого важливого фактора, який впливає на структуру і біологічну активність білків, як нагрівання. Значна кількість наукових досліджень присвячена вивченню теплової денатурації білків сироватки. Проте вони переважно стосуються температур, що перевищують 60 °С, тоді як температури нижче 60 °С часто використовуються при переробці молока. Вони суттєво не впливають на функціо-

нальні властивості білків сироватки молока, але можуть змінювати їхню біологічну активність, тому важливим питанням залишається детальне вивчення механізмів впливу нагрівання в діапазоні температур до 60 °С на властивості і фракційний склад білків сироватки молока.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Білки сироватки молока більш гетерогенні, ніж казеїни, за своєю будовою, властивостями і функціями. Відповідно, процеси теплової денатурації в них мають різний перебіг. Окрім того, основні білки сироватки відносяться до глобулярних білків, і вони менш стійкі до теплової денатурації (Brodkorb, Croguennec, Bouhallab, & Kehoe, 2016; Guo, & Wang, 2019; Kelleher et al., 2020).

Денатурація білків сироватки молока проходить ступінчасто і починається вже при температурах близько 50 °С. Основними фракціями, які визначають загалом теплову денатурацію білків сироватки, є β-лактоглобулін (50% від білків сироватки) і α-лактальбумін (25%). Меншою мірою це стосується альбуміну сироватки крові (BSA), імуноглобулінів (IG), лактоферину (Lf) і лактопероксидази (Lp) (Deeth, & Bansal, 2019; Čurlej, 2022). Властивості основних фракцій білків сироватки молока, які визначають їх стійкість до теплової денатурації наведені в табл. 1.

Таблиця 1. **Склад і властивості білків сироватки молока,** адаптовано за (Bogahawaththa, & Vasiljevic, 2022)

Характеристика молекули білка, функціональна властивість	Фракція сироваткового білка			
	β-лактоглобулін	α-лактальбумін	Альбумін сироватки крові	Імуноглобулін G
Частка від всіх білків сироватки (%)	50	20	8	12
Молекулярна маса (Да)	18300	14200	66500	160000
Ізоелектрична точка	5,13	4,2—4,5	4,7—4,9	5,5—8,3
Кількість залишків цистеїну	5	8	35	
Кількість внутрішньо-молекулярних дисульфідних зв'язків	2	4	17	
Кількість вільних сульфгідрильних груп	1	0	1	
Вторинна структура	8%-α-спіралі 45%-β-структури	26%-α-спіралі 14%-β-структури	67%-α-спіралі 10%-β-згини	3%-α-спіралі 64%-β-структури
Нативна конформація	глобула	глобула	глобула	глобула
Початкова температура денатурації (°С)	78	62	64	72

Зважаючи на значний вміст (50%), не важко передбачити, що найбільше значення для денатурації білків має β-лактоглобулін. У його молекулі є вільна сульфгідрильна група. У молоці β-лактоглобулін перебуває у вигляді димерів. Димери зв'язані іонними зв'язками між карбоксильними групами аспарагінової і глутамінової кислоти однієї молекули та аміногрупами залишків лізину іншої молекули. У мономерному стані β-лактоглобулін перебуває, коли значення pH середовища менше ніж 3,5 і більше 7,5 β-лактоглобулін перебуває у вигляді октамерів. За літературними даними при температурах <60 °C для β-лактоглобуліну характерна зворотна денатурація. Незворотна денатурація починається при досягненні температури 70 °C і більше (Gezimati, Singh, & Creamer, 1996). До нагрівання більш стійкими є α-лактальбумін (Calvo, Leaver, & Banks, 1993). Його незворотна денатурація починається при 80 °C. Найбільш чутливим до нагрівання є альбумін сироватки. Вже при 60 °C наступає його незворотна денатурація (Gezimati et al., 1996). Імуноглобуліни теж є чутливими до нагрівання і починають втрачати свою біологічну активність вже при 72 °C (Marnila, & Korhonen, 2011; Anema, 2017).

У 2024 р. описані результати, які можуть свідчити, що при температурах близько 50 °C може відбуватись незворотна денатурація білків сироватки молока (Yukalo, Datsyshyn, & Storozh, 2024). Такі зміни відбуваються завдяки β-лактоглобуліну і в меншій мірі альбуміну сироватки. Оскільки температури від 40 °C до 50 °C часто використовуються в технологічних процесах, важливим є більш детальне вивчення впливу таких температур на структуру і властивості білків сироватки молока.

Мета статті: встановити вплив короткотермінового прогрівання молочної сироватки при температурі 40 °C і 50 °C на фракційний склад білків.

Для досягнення поставленої мети було сформульовано такі завдання дослідження:

- отримати взірець молочної сироватки шляхом ізоелектричного осадження казеїну із знежиреного молока при 20 °C;
- охарактеризувати фракційний склад білків сироватки методом аналітичного диск-електрофорезу і гель-фільтрацією;
- провести короткотермінове прогрівання взірця молочної сироватки при 40 °C і 50 °C, встановити частку денатурованого білка, охарактеризувати фракційний склад білків прогрітої сироватки експрес-електрофорезом і гель-фільтрацією.

Матеріали і методи. Для виділення сировини використовували знежирене молоко кислотністю 18 °T отримане з ПрАТ «Тернопільський молокозавод». Сироватку відділяли після осадження казеїнів в ізоелектричній точці при значенні pH 4,6, яке досягали додаванням гідрохлоридної кислоти. Осад казеїну відділяли центрифугуванням при 3 000 об/хв на центрифузі ОПН-8.

Концентрацію білків у сироватці, взірцях для електрофорезу і хроматографічних фракціях визначали за поглинанням при довжині хвилі λ=280 на спектрофотометрі СФ-46. Розрахунок концентрації білків сироватки проводили з використанням коефіцієнту поглинання ($D_{\text{см}}^{1\%}$): 12,3 (Fox, 2015).

Для характеристики фракційного складу білків виділеної сироватки використовували аналітичний диск-електрофорез для нейтральних і кислих білків (Yukalo, Datsyshyn, Krupa, & Storozh, 2024). Диск-електрофорез проводили в трубочках поліакриламідного гелю (ПАГ) на апараті фірми «Reanal» (Угорщина).

Для порівняння фракційного складу білків виділеної сироватки і сироватки після прогрівання при 40 °С і 50 °С проводили експрес-електрофорез в пластинках ПАГ (Yukalo, Datsyshyn, & Storozh, 2019). Кількісну обробку електрофореграм проводили з використанням функції зчитування графічних зображень imread (Yukalo et al., 2024).

Розподіл білків і пептидів сироваток за молекулярними масами визначали гель-фільтрацією. Гель-фільтрацію проводили на колонках системи для рідинної хроматографії фірми «Reanal» (Угорщина). Для цього використовували сефадекси G-25 і G-75 фірми «Pharmacia» (Швеція).

Математично-статистичну обробку результатів досліджень проводили з використанням пакетів програм Microsoft Office Excel 2007.

Результати і обговорення. Для вивчення впливу нагрівання на першому етапі дослідження було виділено сироватку при температурі 20 °С і значенні pH 4,6. При цьому до знежиреного молока додавали при помішуванні 1Н гідрохлоридну кислоту. Денатурований казеїн осаджували центрифугуванням на центрифузі ОПН-8 15 хв при 5 000 об/хв. З отриманої таким чином сироватки відбирали взірець (контрольний) для електрофоретичного і хроматографічного аналізу білкового складу. Серед електрофоретичних методів був вибраний високоефективний аналітичний диск-електрофорез у трубочках поліакриламідного гелю в нативних умовах для нейтральних і слабкокислих білків. Цей метод дає змогу ідентифікувати всі основні фракції білків сироватки молока (Yukalo, Datsyshyn, & Storozh, 2024). На рис. 1 показана електрофореграма виділеної контрольної сироватки.

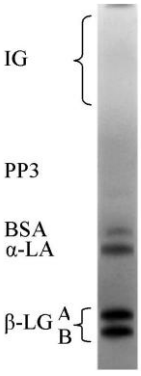


Рис. 1. Електрофореграма сироватки молока після відділення казеїну при pH 4,6:
β-lg – β-лактоглобулін; α-la – α-лактальбумін; BSA – альбумін сироватки;
PP3 – протеозо-пептон 3; IG – імуноглобуліни

На електрофореграмі видно типове розділення білків сироватки молока в нативних умовах. Добре ідентифікуються імуноглобуліни, α-лактальбумін, альбумін сироватки крові, а також два генетичні варіанти (А і В) β-лактоглобуліну.

Для хроматографічного аналізу були вибрані два типи декстранового гелю з різними межами виключення за молекулярними масами: сефадекс G-25 (1 000—5 000 Да) і сефадекс G-75 (3 000—80 000 Да). Таке поєднання дає змогу аналізувати зміни молекулярних масах білків і поліпептидів в межах від 1 000 Да

до понад 80 000 Да (Юкало, & Дацишин, 2018). Результати гель-фільтрації контрольної сироватки на хроматографічних колонах з сефадексами G-25 і G-75 показані на рис. 2. У випадку серадексу G-25 було отримано два піки. Перший пік включає білки і поліпептиди молекулярними масами більше 5000 Да, другий асиметричний пік включає пептиди з молекулярними масами близько 1000 Да. На колонці з сефадексом G-75 видно три піки. Перший пік складається з білків з молекулярною масою, яка перевищує або близька до 80000 Да. Третій пік включає пептиди і поліпептиди з масою близько 3000 Да і менше. Не дуже чіткий другий пік містить низькомолекулярні фракції (від 3000 до 80000 Да). Попередньо проведений електрофоретичний аналіз показав, що другий пік може містити β-lg, α-la і BSA (Юкало, & Дацишин, 2018).

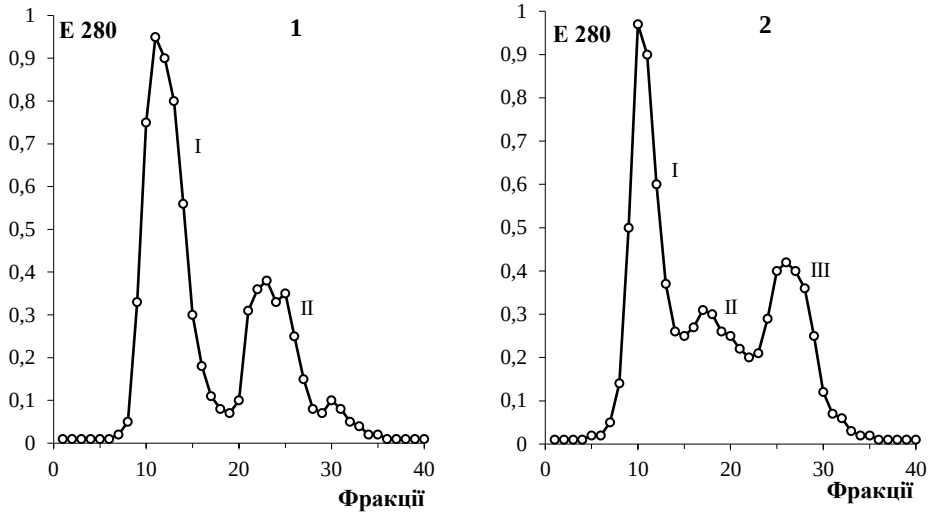


Рис. 2. Хроматограма контрольної сироватки, отримана в результаті гель-фільтрації на колонці з сефадексом G-25 (1) і сефадексом G-75 (2)

Частину виділеної при 20°С сироватки використали для вивчення впливу низькотемпературного нагрівання. Для цього один взірець нагрівали до 40 °С і витримували протягом 5 хв, а інший — до 50 °С і теж витримували 5 хвилин. Після цього взірці охолоджували до 20 °С і аналізували їх склад з допомогою електрофорезу та хроматографії.

Для проведення електрофорезу був вибраний експрес-метод, спеціально розроблений для порівняльного аналізу білків сироватки у пластинках поліакриламідного гелю (Yukalo et al., 2019). Результати електрофорезу показані на рис. 3. Якісний склад білкових фракцій всіх взірців сироватки однаковий. Всі ідентифіковані фракції присутні в кожному взірцеві. Відмінності можуть бути в кількісному складі. Для встановлення вмісту фракцій білків сироватки було проведено денситометрію доріжок кожного взірця в п'яти повтореннях. На основі денситограм

було розраховано вміст чотирьох основних фракцій: β-лактоглобуліну, α-лактальбуміну, альбуміну сироватки крові та імуноглобулінів. Результати наведені в табл. 2.

Незначні зміни вмісту встановлені для всіх фракцій. Найбільш суттєвими вони є у випадку імуноглобулінів. Їхній вміст зменшується зі збільшенням температури прогрівання. За літературними даними ця фракція є однією з найменш стійких до нагрівання (Wijayanti, Bansal, & Deeth, 2014; Wijayanti, Brodkorb, Hogan, & Murphy, 2019).

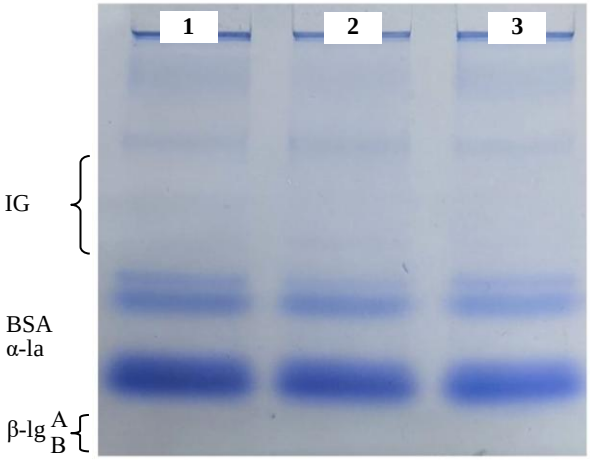


Рис. 3. Експрес-електрофорез взірців контрольної сироватки (1) і сироваток, прогрітих при 40 °С (2) і 50 °С (3)

Таблиця 2. **Вміст основних білкових фракцій у контрольній сироватці і сироватці після короткочасного (5хв) прогрівання при 40 °С і 50 °С** (M±m, n=5)

Вид сировини	Вміст білкових фракцій у сироватці			
	β-лактоглобулін	α-лактальбумін	Альбумін сироватки	Імуноглобуліни
Контрольна сироватка	39,2±4,3	16,8±2,0	9,9±1,4	17,5±1,2
Сироватка. прогріта при 40 °С	40,1±4,0	17,2±1,9	10,0±1,4	15,8±1,3
Сироватка. прогріта при 50 °С	41,3±3,9	18,0±2,1	10,2±1,3	13,3±1,1

Не зовсім зрозумілою є тенденція до незначного підвищення вмісту інших трьох основних фракцій білків. Насамперед це стосується β-лактоглобуліну і α-лактальбуміну. Можливо, таке збільшення пов'язане зі зміною концентрації загального білка сироватки після прогрівання до 40 °С і 50 °С. Таке прогрівання вже може призвести до денатурації і втрати розчинності незначної частини білкових молекул (Mercadante et al., 2012). При підготовці взірців для електрофоретичного аналізу проводиться центрифугування і денатуровані білки осаджуються. В результаті частка термостійкіших білкових фракцій збільшується.

Взірці сироватки прогрітої при 40 °С і 50 °С аналізували гель-фільтрацією, тому що це було зроблено для контрольної сироватки. Отримані хроматограми на колонках з сефадексом G-25 і G-75 для взірця, прогрітого при 40 °С, практично не відрізнялись від хроматограм контрольного взірця сироватки (рис. 2). Аналіз взірця, прогрітого при 50 °С, показав певні відмінності. При гель-фільтрації на колонці з сефадексом G-25 видно незначні зміни у хроматографічному профілі піку II і перерозподіл низькомолекулярних фракцій (рис. 4(1)). Це стосується пептидів (близько 1000 Да), які елююються з об'ємом, що дорівнює повному об'єму колонки.

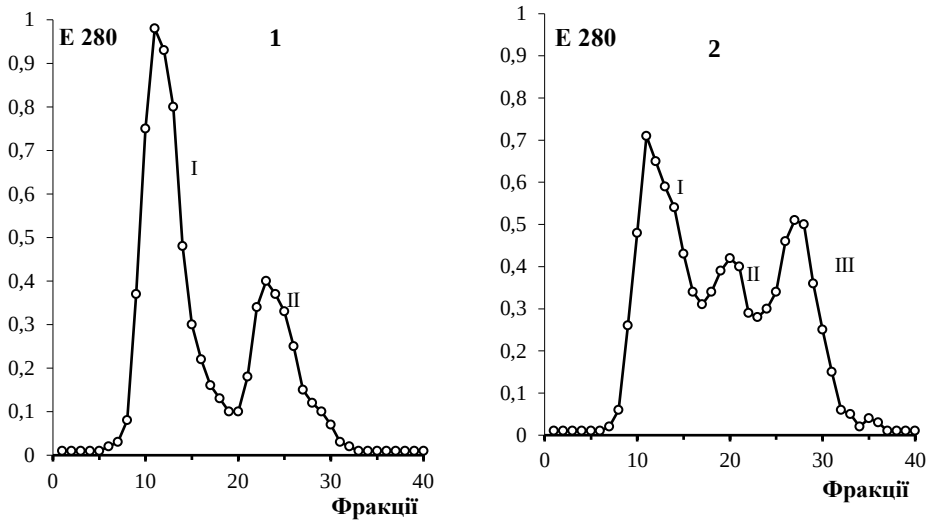


Рис. 4. Хроматограми сироватки, прогрітої при 50^{0}С, отримані в результаті гель-фільтрації на колонці з сефадексом G-25 (1) і сефадексом G-75 (2)

Більш суттєві відмінності виявлені в результаті гель-фільтрації на колонці з сефадексом G-75. Вони стосуються основних білкових фракцій, які елююються з колонки у складі піків I і II (рис. 4(2)). Зміни у складі низькомолекулярних фракцій піку III (3 000 Да) незначні. Не зовсім зрозумілим на хроматограмі є великий пік I, який елююється з об'ємом, що дорівнює вільному об'єму колонки. Верхня межа виключення для цього типу сефадексу становить більше 80 000 Да. Такі молекулярні маси мають лише імуноглобуліни, деякі мінорні білки (лактоферин, лактопероксидаза) і наближається альбумін сироватки крові (Fox, 2015). Основні білки сироватки — β-лактоглобулін і α-лактальбумін, частка яких становить близько 75% від всіх білків сироватки, мають молекулярні маси 18363 Да (варіантА) і 14 178 Да відповідно. Проте відомо, що β-лактоглобулін може утворювати асоціати і перебувати розчинах у вигляді мономерів, димерів і октамерів залежно від значення pH середовища (Mercadante et al., 2012).

У нашому випадку сироватку відділяли при значенні pH 4,6. У таких умовах β-лактоглобулін утворює октамери, значення молекулярної маси яких перевищує 140 000 Да. Також необхідно відзначити, що при таких значеннях pH карбоксиль-

ні групи залишків аспарагінової кислоти α-лактальбуміну протонуються і втрачають здатність зв'язувати іони Ca^{2+}. При цьому апопротеїн α-лактальбуміну може утворювати агрегати при нагріванні до 55 °С. Очевидно, що початкові стадії агрегації можуть відбуватись певною мірою і при нагріванні до 50 °С. З огляду на це наявність великого піку I на хроматограмі (рис. 2(2) і рис. 4(2)) можна пояснити присутністю октамерів β-лактоглобуліну, а також агрегатів α-лактальбуміну у випадку прогрівання сироватки до 50 °С (рис. 4(2)). Зменшення і зміщення піку I і збільшення піку II на хроматограмі сироватки після прогрівання до 50 °С (рис. 4(2)) може бути пов'язане з розпадом октамерів β-лактоглобуліну в результаті нагрівання. Розпад димерів β-лактоглобуліну описаний під час нагрівання його розчинів при значеннях pH 6,8—7,0 (Deeth, & Bansal, 2019). Для детальнішого з'ясування впливу нагрівання сироватки до 50 °С важливо було б встановити білковий склад хроматографічних піків електрофоретичним аналізом в денатуруючих умовах у присутності додецилсульфату натрію.

Висновки

1. Короткотривале (5 хв) прогрівання до 40 °С молочної сироватки, отриманої в результаті ізоелектричного осадження казеїну при значенні pH 4,6 за даними електрофорезу і гель-фільтрації на сефадексах G-25 і G-75, не впливає на якісний і кількісний склад основних білкових фракцій. Незначне зменшення частки імуноглобулінів (з 17,5±1,2% до 15,8±1,3%) знаходиться в межах статистичної похибки.

2. При нагріванні цієї ж сироватки протягом 5 хв при 50 °С зменшується на 6,1±0,9% частка неденатурованого загального білка сироватки. За даними електрофорезу це зменшення відбувається переважно завдяки фракції імуноглобулінів, частка яких знижується з 17,5±1,2% до 13,3±1,1%. Також за даними гель-фільтрації на сефадексі G-75 зменшується частка білкових фракцій з молекулярними масами, що перевищують 80 000 Да. Це може відбуватися завдяки розпаду октамерів β-лактоглобулінів.

Література

Юкало, В. Г., & Дацишин, К. Є. (2018). Декстранові гелі для ексклюзивної хроматографії протеїнів сироватки молока. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Ґжицького*, 20(85), 3—8.

Anema, S. G. (2017). A comparison of the kinetics of the thermal denaturation of the immunoglobulins in caprine and bovine skim milk samples. *International Dairy Journal*, 65, 1—4.

Bogahawaththa, D., & Vasiljevic, T. (2022). Advances in dairy protein science: whey proteins. *In: Understanding and Improving the Functional and Nutritional Properties of milk*. UK: Burleigh Dodds Science Publishing. https://doi.org/10.19103/AS.2022.0099.06.

Brodkorb, A., Croguennec, T., Bouhallab, S., & Kehoe, J. J. (2016). *Heat-Induced Denaturation, Aggregation and Gelation of Whey Proteins*. NY: Springer, New York.

Calvo, M. M., Leaver, J., & Banks, J. M. (1993). Influence of other whey proteins on the heat-induced aggregation of α-lactalbumin. *International Dairy Journal*, 3(8), 719—727.

Čurlej, J., Zajác, P., Čapla, J., Golian, J., Benešová, L., Partika, A., ..., Jakabová, S. (2022). The Effect of Heat Treatment on Cow's Milk Protein Profiles. *Foods*. 11(7), 1023. https://doi.org/10.3390/foods11071023.

Deeth, H., & Bansal, N. (2019).Whey proteins: an overview. In: Deeth H., Bansal, N. (Eds.). *Whey Proteins: From Milk to Medicine* (1—50). London, UK: Academic Press.

Fox, P. F., Uniacke, T., Mc Sweeney, P. L. H., & O'Mahony, J. A. (2015). *Dairy chemistry and*

Biochemistry. Second Edition. New York: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-14892-2.

Gezimati, J., Singh, H., & Creamer, L. K. (1996). Heat-induced interactions and gelation of mixtures of bovine β-lactoglobulin and serum albumin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44(3), 804—810.

Guo, M., & Wang, C. (2019). *Chemistry of whey proteins*. In: Guo M. (Ed.). *Whey Protein Production, Chemistry, Functionality and Applications* (39—65). Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.

Kelleher, C. M., Aydogdu, T., Murphy, K. M., O'Mahony, J. A., Kelly, A. L., O'Callaghan, D. J., & McCarthy, N. A. (2020). The effect of protein profile and preheating on denaturation of whey proteins and development of viscosity in milk protein beverages during heat treatment. *Int. J. Dairy Technol*., 73, 494—501. Https://doi.org/10.1111/1471-0307.12679.

Mercadante, D., Melton, L. D., Laurence, D., Norris, G. E., Loo, T. S., Williams, M. A. K., ..., Jameson G. B. (2012). Bovine β-lactoglobulin is dimeric under imitative physiological conditions: dissociation equilibrium and rate constants over the pH range of 2.5—7.5. *Biophysical Journal*, 103(2), 303—312.

Marnila, P., & Korhonen, H. (2011). *Immunoglobulins. Encyclopedia of dairy sciences: Volume 2*. Fuquay, J. W., Fox, P. F., & McSweeney, P. L. H. (Eds.). 2nd ed. San Diego, CA: Academic Press. P. 807—815.

Wijayanti, H. B., Bansal, N., & Deeth, H. C. (2014). Stability of whey proteins during thermal processing: a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(6), 1235—1251. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12105.

Wijayanti, H. B., Brodkorb, A., Hogan, S. A., & Murphy, E. G. (2019). Thermal Denaturation, Aggregation, and Methods of Prevention. In: Deeth, H., & Bansal, N. (Eds.). *Whey Proteins: From Milk to Medicine* (185—247). London. UK: Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812124-5.00006-0.

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. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.160186.

Yukalo, V., Datsyshyn, K., & Storozh L. (2024). The effect of low heating temperatures on casein whey proteins. *Food science and technology*, 18(1), 51—57. https://doi.org/10.15673/fst.v18i1.2847.

Yukalo, V., Datsyshyn, K., Krupa, O., & Storozh, L. (2024). Adaptation of Stadier's apparatus for electrophoresis of main milk proteins. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(11(127)), 73—80. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.296753.

УДК 664.664.9

USE OF WHEY PROTEIN ISOLATE IN THE PRODUCTION OF BAKERY PRODUCTS

Yu. Bondarenko, O. Bilyk, O. Kochubei-Lytvynenko, V. Pivovarova, A. Krushynska
National University of Food Technologies

Key words:
Whey protein isolate
Fermentation
Dough
Gluten
Bakery product
Elasticity of dough

Article history:
Received 18.11.2024
Received in revised form 02.12.2024
Accepted 16.012.2024

Corresponding author:
O. Bilyk
E-mail:
bilyklena@gmail.com

Citation: Бондаренко Ю. В., Білик О. А., Кочубей-Литвиненко О. В., Півоварова В. В., Крушинська А. С. (2024). Використання ізоляту сироваткових білків у виробництві булочних виробів. *Наукові праці НУХТ*, 30(6), 159—177.
DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-6-16

ABSTRACT

Bakery products have a low biological value due to the insufficient content of the essential amino acid lysine in cereals such as wheat and rye. The inclusion of milk proteins in bakery products will not only increase their protein content but also improve their quality. The use of whey protein isolate as a source of animal proteins in the manufacture of bakery products was researched.

According to the results of the research, it was found that the optimal dosage of whey protein isolate, which ensured high quality of products and their enrichment with protein substances, was 10% by weight of flour.

It was found that the addition of whey protein isolate did not change the fermentation process in the dough compared to the control sample and contributed to the intensification of fermentation processes after reaching the first peak of carbon dioxide release.

The study of the structural and mechanical properties of the dough showed that the addition of whey protein isolate led to the formation of a weak dough with low elasticity. The reason for such dough properties is a 67% decrease in gluten content in the dough with the isolate and a deterioration in its quality, since the formed gluten had the appearance of an inelastic viscous mass.

Ensuring the volume, shape stability and porosity of products with a detected deterioration in the rheological properties of the dough was due to the improvement of the gas retention capacity of the dough.

In the manufacture of bakery products with the addition of 10% whey protein isolate, it is recommended to limit the duration of fermentation to reduce dough relaxation and thinning. Based on the dynamics of carbon dioxide emission, it is recommended a dough fermentation time of 45—60 minutes, so that the maximum carbon dioxide emission occurs during the period of proofing of dough pieces. This period of the technological process is also characterized by an improvement in the gas-holding capacity of dough pieces. Together, this will ensure the formation of products with high quality indicators.

DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-6-16

ВИКОРИСТАННЯ ІЗОЛЯТУ СИРОВАТКОВИХ БІЛКІВ У ВИРОБНИЦТВІ БУЛОЧНИХ ВИРОБІВ

Ю. В. Бондаренко, О. А. Білик, О. В. Кочубей-Литвиненко, В. В. Півоварова, А. С. Крушинська
Національний університет харчових технологій

Хлібобулочні вироби мають низьку біологічну цінність через недостатній вміст незамінної амінокислоти лізину в таких зернових культурах, як пшениця та жито. Включення молочних білків до складу хлібобулочних виробів сприятиме не тільки збільшенню в них вмісту білка, а й покращання його якості, тому передбачено застосування ізоляту сироваткових білків як джерела білків тваринного походження у виготовлені булочних виробів.

За результатами досліджень встановлено, що оптимальним дозуванням ізоляту сироваткових білків, що забезпечує високу якість виробів та збагачення їх білковими речовинами, є 10% до маси борошна. Встановлено, що внесення ізоляту сироваткового білка не змінює характеру процесу бродіння в тісті, порівняно з контрольним зразком, та сприяє інтенсифікації процесів бродіння після досягнення першого піку виділення вуглекислого газу.

Дослідженням структурно-механічних властивостей тіста встановлено, що додавання ізоляту сироваткового білка зумовлює формування тіста слабкого за силою, що має низьку пружність і втрачає еластичність. Причиною таких властивостей тіста є зниження вмісту клейковини в тісті з ізолятом на 67% та погіршення її якості, оскільки сформована клейковина мала вигляд нееластичної в'язкої маси.

Забезпечення об'єму, формостійкості та пористості виробів з ІСБ при виявленому погіршенні реологічних властивостей тіста відбувається завдяки покращанню газоутримувальної здатності тіста.

У виготовленні виробів з додаванням 10% ізоляту сироваткових білків для зменшення розслаблення та розрідження тіста рекомендовано обмежити тривалість його бродіння. За даними динаміки виділення вуглекислого газу можна рекомендувати тривалість бродіння тіста 45—60 хв, щоб максимальне виділення вуглекислого газу припадало на період вистоювання тістових заготовок. Для цього періоду технологічного процесу також характерним буде покращання газоутримувальної здатності тістових заготовок. У комплексі це забезпечить формування виробів з високими показниками якості.

Ключові слова: *ізолят сироваткового білка, бродіння, тісто, клейковина, булочні вироби, пружно-еластичні властивості тіста.*

Постановка проблеми. Формування правильних харчових звичок у дитини — важливе завдання сучасного суспільства (Juul, Vaidean, & Parekh, 2021). Харчування дитини є передумовою запобігання розвитку в майбутньому неінфекційних захворювань. Сьогодні сучасні моделі харчування дітей потребують пильної уваги, особливо до такого поширеного прийому їжі, як перекушування. За останнє десятиліття статистика збільшення частоти перекушувань зросла серед молоді

всього світу. Причиною цього є інтенсивний темп життя, значні фізичні та когнітивні навантаження дітей і підлітків (Tugault-Lafleur, & Polsky, 2024; Chapelot, 2011; Almoraie, Saqaan, Alharthi, Alamoudi, Badh, & Shatwan, 2019).

Проблема перекушування полягає в тому, що дитина обирає для цього прийому їжі недостатньо цінні для задоволення її фізіологічних потреб харчові продукти, переважно це продукція фаст-фуду, чипси, газовані напої, цукерки тощо (Bharti, & Kulshrestha, 2019). Перспективним напрямком вирішення цієї проблеми є розширення асортименту продукції, яку дитині буде зручно та корисно використати для перекусу. Хлібобулочні вироби можуть бути важливим елементом збалансованого дитячого харчування, однак асортимент хлібних виробів для дитячого харчування обмежений і потребує розширення.

Періоди дитинства та підліткового віку супроводжуються інтенсивними процесами зростання організму, тому харчові продукти повинні бути збагаченні повноцінними білковими речовинами для забезпечення достатнього надходження цього будівельного інгредієнту в організм дитини (Xiong та ін., 2023; Soliman та ін., 2024). Високу харчову цінність завдяки своєму амінокислотному профілю мають молочні білки, зокрема сироваткові, тому важливим є дослідження застосування ізоляту сироваткових білків як джерела білків тваринного походження у виготовлені булочного виробу для дітей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Хлібобулочні вироби завдяки своїй поширеності та доступності є тією категорією продуктів, що впливатимуть на формування здорових харчових звичок у дітей за умови правильного підбору їх рецептурного складу. Недоліком хлібобулочних виробів є їх низька біологічна цінність унаслідок низького вмісту в зернових культурах пшениці та жита незамінної амінокислоти лізину (Mesta-Corral, Gómez-García, Balagurusamy, Torres-León, & Hernández-Almanza, 2024).

Для дітей особливо важливим є надходження з харчовими продуктами молочного білка (Mezzomo, & Nadal, 2014). Включення молочних білків до складу хлібобулочних виробів сприятиме не тільки збільшенню в них вмісту білка, а й покращання його якості.

З точки зору хімічного складу, в коров'ячому молоці 20% молочних білків представлені білками сироватки, інша частина фракцій молочного білка — міцелярний казеїн (Balivo, d'Errico, & Genovese, 2024).

Сироваткові білки та казеїн мають високу харчову цінність завдяки своєму амінокислотному профілю. Для цих білків біологічна цінність із скоригованою засвоюваністю амінокислот (PDCAAS) становить 1, тобто це вказує, що вони є цінним джерелом білка з точки зору балансу незамінних амінокислот та їх засвоюваності (Phillips, 2017).

Сироваткові протеїни та казеїни по-різному впливають на метаболізм і фізіологію людини, оскільки вони по-різному перетравлюються та засвоюються. Казеїни класифікуються як повільнозасвоювані білки, тоді як сироваткові білки є швидкозасвоюваними (Nongonierma, & FitzGerald, 2015). Оскільки сироватковий білок легко засвоюється, це зумовлює швидке підвищення концентрації амінокислот у плазмі, сприяючи синтезу білка в тканинах (Camargo, Doneda, & Oliveira, 2020). У зв'язку з цим сироваткові білки доцільно застосовувати у харчуванні

дитини протягом дня для підтримання росту та відновленню м'язів, а також швидкої компенсації енергетичних витрат. Крім того, дитячий організм має менш зрілий мікробіом кишківника, що спричиняє гірше засвоєння поживних речовин. Сироваткові білки завдяки своїй будові й амінокислотному складу легко перетравлюються, всмоктуються у кров та стають доступними для синтезу м'язового білка. Це є підставою для застосування сироваткових білків у складі харчових продуктів, рекомендованих дітям для перекусів. Казеїн, на відміну від сироваткових білків, під час травлення при взаємодії зі шлунковими кислотами утворює гелеподібну структуру, що уповільнює вивільнення амінокислот у кров, затримуючи їх всмоктування. Тому його доцільно застосовувати у харчових продуктах, які споживаються у вечірній час, щоб його повільне і стабільне засвоєння відбувалося вночі, коли організм переходить у режим відпочинку (Mezzomo, & Nadal, 2014).

В організмі людини сироваткові білки проявляють антиоксидантну та протизапальну дію, сприяють зниженню артеріального тиску та запобігають ожирінню. Крім того, застосування сироваткових білків у харчуванні дітей може запобігати виникненню резистентності до інсуліну, передвісника діабету 2 типу, та зумовлювати зниження частоти коронарних захворювань і карієсу зубів (Shah, 2014).

Фракцію сироваткового білка отримують із сироватки, яка є побічним продуктом виробництва сиру. Сироватковий білок містить β-лактоглобулін (35—65%) і α-лактальбумін (12—25%), у менших кількостях імуноглобуліни (8%), альбумін (5%) і лактоферин (1%). Білки молочної сироватки є формою глобулярних білків, що містять значну кількість структур α-спіралі з рівномірно розподіленими гідрофільними та гідрофобними, а також кислими та основними амінокислотами вздовж їх поліпептидного ланцюга. Сироватковий білок багатий амінокислотами з розгалуженим ланцюгом, такими як лейцин, ізолейцин і валін, а також містить цистеїн (Camargo, Doneda, & Oliveira, 2020; Patel, 2015).

У промисловості сироватковий протеїн виробляють у вигляді таких товарних форм: концентрат сироваткового білка, що містить 35—85% білка; ізолят сироваткового білка, який отримують завдяки процесу фільтрації, під час якого видаляються лактоза та молочні жири, що забезпечує вищий ступінь чистоти з кінцевим вмістом білка понад 90%; гідролізат сироваткового білка, який є результатом гідролізу молекул сироваткового білка, отриманого з концентрату або ізоляту сироваткового білка, утворюючи менші білкові сегменти, такі як амінокислоти та низькомолекулярні пептиди, покращуючи їх біодоступність для засвоювання (Livney, 2010; Sinha, Cheruppanpullil, Prakash, & Kaultiku, 2007).

Продукти із сироваткового білка демонструють чудові функціональні властивості, такі як висока розчинність, здатність до піно- та гелеутворення, водозв'язувальна здатність, кислотостійкість (Jeewanthi, Lee, & Paik, 2015; Minj, & Anand, 2020). Їх здатність взаємодіяти з фітонцидами та фенольними сполуками в харчових системах зумовлює покращання сприйняття смаку готових харчових продуктів (Balivo, d'Errico, & Genovese, 2024). Висока біологічна цінність і широкий перелік функціональних властивостей продуктів із сироваткового білка обумовлюють їх використання у виробництві харчових продуктів для покращання їх структури, смакового профілю, поживних та інших функціональних властивостей (Sharma, & Chauhan, 2018).

У виробництві традиційних хлібобулочних виробів відзначено застосування сироваткових білків переважно у вигляді концентрату сироваткових білків та у поєднанні його з ізолятами рослинного походження (Kochubei-Lytvynenko, Bilyk, Bondarenko, & Stabnikov, 2022; Erben, & Osella, 2017; Song, Perez-Cueto, & Bredie, 2018; Madenci, & Bilgicli, 2014; Gani та ін., 2015).

Сироваткові білки є важливим та поширеним інгредієнтом безглютенової продукції для імітування властивостей глютену завдяки їх емульгуючій, піноутворюючій здатностей та високої стабільності (Skendi, Papageorgiou, & Varzakas, 2021). Мікроструктура сироваткового білка відрізняється від інших молочних білків тим, що вони не мають термічної стабільності вище 70 °C, тому повністю денатурують вище такої температури, що призводить до утворення хорошої білкової мережі у безглютенових системах (Stantiall, & Serventi, 2017). Ізолят і концентрат сироваткових білків було використано в рецептурних композиціях безглютенового крекера, виготовленого на основі рисового борошна (Sarabhai, Indrani, Vijaykrishnaraj, Milind, Kumar, & Prabhasankar, 2015; Nammakuna, Barringer, & Ratanatriwong, 2016); печива з борошна кукурудзи та сорго (Zhu та ін., 2023); кекса на основі нутового борошна (Herranz, Canet, Jiménez, Fuentes, & Alvarez, 2016); мафінів з пшоняного борошна (Jyotsna, Soumya, Swati, & Prabhasankar, 2016).

Сироваткові білки є найбільш перспективними замінниками яєць у харчових продуктах. У технології бісквітного напівфабрикату встановлено доцільність заміни до 25% рецептурної кількості яєць ізолятом сироваткового білка (Díaz-Ramírez та ін., 2016). Застосування концентрату сироваткових білків у технології кексів дало змогу при виключенні з рецептури яєць та заміни ним 20% пшеничного борошна отримати реологічні властивості тіста, що забезпечили формування виробів належної якості (Jyotsna, Sai Manohar, Indrani, & Venkateswara Rao, 2007). Повна або часткова (50%) заміна яєць у рецептурі тіста для кексу можлива також ізолятом сироваткового білка за умови його сумісного використання з емульгатором. При цьому відзначено не лише отримання виробів хорошої якості, але й подовження їх свіжості під час зберігання (Paraskevopoulou, Donsouzi, Nikiforidis, & Kiosseoglou, 2015).

У технології білого шоколаду, виготовленого із заміною сахарози еритритолом, застосування ізоляту сироваткових білків дало змогу отримати вироби належної якості без застосування операції темперування. Поряд з цим відзначено позитивний вплив ізоляту сироваткових білків у запобіганні посивіння поверхні шоколаду під час його зберігання (Nastaj, Sołowiej, Terpiłowski, Kucia, Tomasevic, & Podkościelna, 2024).

Сироваткові білки мають великий потенціал і як джерело цінних поживних речовин, і як інгредієнт з технологічно-функціональними властивостями. Розширення можливостей використання продуктів сироваткових білків у виготовленні харчових виробів з новими властивостями потребує проведення подальших досліджень їх застосування у різних харчових системах.

Мета дослідження: встановити вплив ізоляту сироваткових білків на параметри технологічного процесу та показники якості готових виробів у технології булочних виробів.

Матеріали і методи. З асортименту булочних виробів підібрано базовий виріб для збагачення ізолятом сироваткового білка (контрольний зразок). При цьому було враховано вимоги, які ставляться до виробів дитячого асортименту: виріб не повинен містити у своєму складі маргарину та мати низький вміст доданого цукру. Таким виробом є рогалик молочний з такою рецептурою: 1000 г борошна пшеничного першого сорту, дріжджі хлібопекарські 50 г, сіль кухонна 10 г, цукор білий 20 г, масло вершкове 30 г, а також молоко нативне коров'яче 400 г. Під час проведення досліджень молоко було виключено із базової рецептури для того, щоб встановити безпосередньо вплив ізоляту сироваткового білка, як продукту переробки молока.

Для встановлення технологічно можливого дозування ізоляту сироваткового білка в рецептуру булочних виробів проводили пробне лабораторне випікання. Дослідні зразки тіста замішували з включенням в рецептуру контрольного зразка 5, 10 та 15% до маси борошна ізоляту сироваткових білків.

Для дослідження використовували ізолят сироваткового білка від німецького виробника GermanProt 9000, отриманий завдяки процесу низькотемпературної мікрофільтрації. Ця технологія ефективно видаляє надлишок жиру із продукту та забезпечує високий вміст в ньому білка (Mestawet, France, Mulcahy, & O'Mahony, 2024). Ізолят сироваткового білка — це білий порошок із ледь солодкуватим молочним смаком, у якому масова частка білка становить 93%, жиру — не більше 1%, мінеральних речовин — не більше 2%, води — не більше 4%.

Ізолят сироваткового білка характеризується високою біологічною цінністю, обумовленою складом незамінних амінокислот. З табл. 1 видно, що амінокислотний склад ізоляту сироваткового білка GermanProt 9000 перевищує амінокислотний склад білка пшеничного борошна, що підтверджує доцільність його застосування для покращання біологічної цінності булочних виробів.

Таблиця 1. **Амінокислотний склад ізоляту сироваткового білка та пшеничного борошна**, г/100 г білка

Амінокислота	Ізолят сироваткового білка	Пшеничне борошно першого сорту
Ізолейцин	6,8	0,53
Лейцин	10,4	0,813
Лізин	9,2	0,265
Метіонін + Цистеїн	4,3	0,40
Фенілаланін + Тирозин	6,0	0,88
Треонін	6,4	0,318
Триптофан	1,9	0,12
Валін	6,0	0,51

Тісто для всіх зразків замішували в тістомісильній машині ESHER (Італія) на першій швидкості 4—6 хв та 6—8 хв на другій швидкості. Початкова температура тіста становила 28—29 °С. Тісто залишали на бродіння протягом 120 хв (з однією обминкою через 60 хв) за температури 30—32 °С. Після бродіння тісто ділили на шматки масою по 250 г, з яких формували тістові заготовки для 2 формових виробів та 1 подового, які поміщали на вистоювання у шафу вистоювання Sveba Dahlin

AB DC-21 (Швеція) за температури 35—38 °С. Кінець вистоювання встановлювали органолептично. Вистояні тістові заготовки випікали в секційній печі Sveba Dahlin AB DC-21 (Швеція) при подачі пару (6 с) за температури 200—220 °С протягом 25—30 хвилин.

Готові вироби аналізували через 3 год після випікання за органолептичними показниками (стан поверхні, правильність форми, структура пористості, еластичність, колір і розжовуваність м'якушки, аромат та смак) (Galenko, Shevchenko, Ceccanti, Mignani, & Litvynchuk, 2024).

Масову частку вологи м'якушки виробів визначали методом висушування наважки в сушильній шафі СЕШ-3М (ТОВ «УкрАналитика», Україна) за температури 130 °С протягом 40 хв, кислотність — методом титрування витяжки, приготовленої з м'якушки, розчином гідроксиду натрію або калію в присутності індикатора фенолфталеїну (Hetman, Mykhonik, Kuzmin, & Shevchenko, 2021).

Пористість виробів відображає об'єм пор у певному об'ємі м'якушки, виражений у відсотках до загального об'єму (Verheyen, Albrecht, Elgeti, Jekle, & Becker, 2015). Вимірювання проводилося за допомогою приладу контролю пористості КП.

Формостійкість виробів визначали вимірюванням висоти і діаметра подових виробів (мм) й оцінювали за їх співвідношенням. Об'єм хліба визначали за допомогою спеціального приладу — об'ємомірника (місткість з дрібним зерном), що працює за принципом витиснення хлібом зерна. Об'єм витисненого зерна ($см^3$), що вимірюють за допомогою циліндра, відповідає об'єму хліба (Shevchenko, Drobot, & Galenko, 2022). Питомий об'єм хліба визначається діленням об'єма хліба на його масу і виражається з точністю до 1 $см^3$/100 г (Zhu, Sakulnak, & Wang, 2016).

Дослідження процесу бродіння в тісті проводили за аналізом динаміки виділення вуглекислого газу зі 100 г тіста за температури 30 °С протягом періоду, що включає тривалість бродіння тіста та вистоювання тістових заготовок. Для визначення цього показника застосовували волюмометричний метод контролю виділеного CO_2 за постійних температури та тиску (Verheyen, Albrecht, Elgeti, Jekle, & Becker, 2015; Munteanu та ін., 2019; Shevchenko, Drobot, & Galenko, 2022).

Реологічні властивості тіста визначали на приладі Alveograph CHOPIN (Франція) за методикою ISO27971 за такими параметрами: пружність (P), розтяжність тіста (L), співвідношення P/L, енергія деформації (W), індекси еластичності та розтяжності. (Labuschagne, Guzmán, Crossa, Biljon, 2023; ДСТУ 4111.4-2002; Криворучко, 2018; Macedo, Nunes, Sousa, & Raymundo, 2020).

Газоутримувальну здатність тіста визначали, спостерігаючи за зміною об'єму зразків від початку бродіння і до моменту опадання тіста в мірних циліндрах за температури 30 °С, відносної вологості повітря 75% та розпливанням кульки тіста (Дробот, 2015). Визначення масової частки клейковини здійснювали її відмиванням згідно стандартної методики. Якість клейковини визначали за розтяжністю над лінійкою (Дробот, 2015).

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

Достовірність отриманих результатів забезпечувалася повторенням експериментів тричі. Отримані та представлені результати враховують середньоквадратичне відхилення; графічне представлення експериментальних даних проводили з

використанням стандартних програм статистичної обробки — Microsoft Excel 2010.

Викладення основних результатів дослідження. За результатами пробного лабораторного випікання (табл. 2) встановлено, що внесення ізоляту сироваткових білків (ІСБ) зумовлює підвищення кінцевої кислотності тіста на 0,4—1,0 град, порівняно з контролем, відповідно до збільшення дозування ізоляту. Тісто під час оброблення органолептично характеризувалося зміненими властивостями. Так, за дозування ІСБ 10% до маси борошна воно було менш пружним, а за дозування 1% до маси борошна — нееластичним зі значно меншою пружністю, в'язке та підлипало.

Таблиця 2. **Показники технологічного процесу та якості виробів у разі збагачення їх ізолятом сироваткових білків** (n=3, p≥0,95, δ=3...5%)

Показник	Досліджувані зразки			
	Контроль	Внесено ізоляту сироваткових білків, % до маси борошна		
		5	10	15
Тісто				
Масова частка вологи, %	40,1	40,4	40,2	40,5
Тривалість бродіння, хв	120			
Тривалість вистоювання, хв	38	36	39	42
Кінцева кислотність, град	2,0	2,4	2,7	3,0
Характеристика тіста	Достатньо пружне та еластичне	Достатньо пружне та еластичне	Менш пружне та еластичне,	Непружне, більш в'язке, недостатньо еластичне та підлипає
Хліб				
Питомий об'єм, $см^3/г$	2,32	2,34	2,65	2,50
Кислотність, град	1,7	2,1	2,5	2,8
Формостійкість H/D	0,55	0,63	0,65	0,53
Пористість, %	68,0	68,0	75,0	73,0
Стан поверхні	Гладенька			
Колір скоринки	Світло жовтий	Жовто-золотистий	Світло-коричневий	Коричневий
Колір м'якушки	Світлий		Світлий з кремовим відтінком	
Стан пористості	Розвинена з переважанням дрібних пор у структурі, які мають середню товщину стінки	Розвинена з переважанням середніх за розміром пор у структурі виробу, які мають більш тонку товщину стінки	Розвинена з переважанням середніх за розміром пор у структурі подового виробу та великих пор у структурі м'якушки формового виробу, пори характеризувалися більш тонкою товщиною стінки	Розвинена з переважанням великих за розміром пор у структурі, які маю середню товщину стінки

Продовження таблиці 2

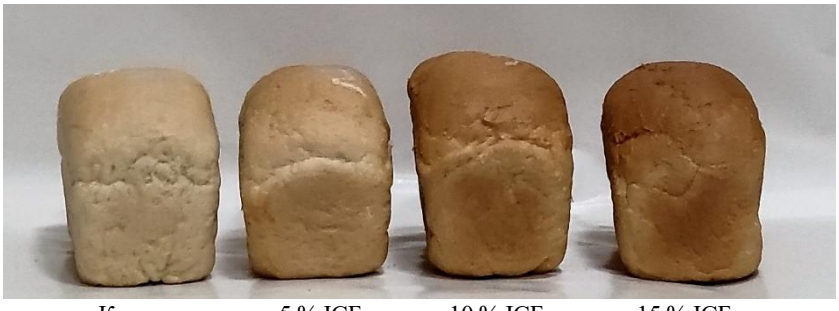
Еластичність м’якушки	Еластична	Більш еластична, ніж у контролі
Смак та аромат	Властивий булочному виробу	Властивий булочному виробу, більш інтенсивний аромат, відчувається більш приємний післясмак

Тривалість вистоювання тістових заготовок з ізолятом сироваткових білків та контрольного зразка була в межах похибки досліду.

За зовнішнім виглядом готові вироби (рис. 1) з ізолятом сироваткових білків характеризувалися більш інтенсивним забарвленням скоринки виробів. Так, якщо за дозування 5% до маси борошна ІСБ скоринка набувала більш золотистого забарвлення, порівняно з контролем, то за дозування 10 та 15% ІСБ скоринка вже характеризувалася світло-коричневим і коричневим забарвленням відповідно. До того ж за цих дозувань такі характеристики кольору були властиві не тільки скоринці, але й боковим стінкам формових виробів. Імовірно, що ІСБ як джерело амінокислот сприяє інтенсифікації реакції меланоїдиноутворення, яка супроводжується утворенням не тільки забарвлених речовин, що надають кольору, але й ароматичних сполук. Підтвердженням цього є те, що вироби за дозування 10 та 15% до маси борошна ІСБ характеризувалися більш вираженим, ніж у контролі, ароматом і більш приємним післясмаком. Інтенсифікація реакції меланоїдиноутворення також обумовила формування приємного кремового відтінку м’якушки виробів за дозування 10 та 15% до маси борошна ІСБ.

Контроль 5 % ІСБ 10 % ІСБ 15 % ІСБ

а



Контроль 5 % ІСБ 10 % ІСБ 15 % ІСБ

б

Рис. 1. Фото виробів з додаванням ізоляту сироваткових білків:
а — подові вироби у розрізі; б — формові вироби

У разі внесення ізоляту сироваткових білків відзначаються зміни у формуванні структури пористості м'якушки, зокрема вона стає більш розпушеною, ніж у контролі. Якщо для контролю характерною була дрібна пористість з середньою товщиною стінки пор, то за дозування 5% та 10% формується вже більш тонкостінна пористість з більшими розмірами пор. За дозування 15% до маси борошна ІСБ м'якушка мала пористість з більшою товщиною стінок пор та їх розміром, що візуально впливало на сприйняття структури м'якушки цього виробу як більш грубої, порівняно зі зразками з дозуванням ІСБ 5% та 10% до маси борошна. Загалом, у виробах подових і формових утворення структури пористості відбувалося по-різному. Так, у подових виробах з ізолятом пористість характеризувалася як більш однорідна та менша за розміром пор, ніж у виробах формових з відповідним дозуванням ІСБ. Напевно, для формових виробів внаслідок утримування тіста стінками форм відбувалося більше зростання об'єму тістової заготовки у висоту, що, у свою чергу, зумовлювало ніби «витягування» розміру пор за зростанням тістових заготовок у висоту, особливо це відзначено для виробів з дозуванням ізоляту 10 та 15% до маси борошна.

Дослідження фізико-хімічних показників виробів показало, що дозування 5% до маси борошна ІСБ не впливає на зміну питомого об'єму виробів, в той час, як за дозувань 10% та 15% збільшення питомого об'єму становить на 14,2% та 7,7%, відповідно.

Для подового виробу важливим показником якості є формостійкість. У разі дозування ізоляту покращання формостійкості виробів відзначено у зразках з 5% та 10% до маси борошна ІСБ на 14,5% та 18%, відповідно. Порівняно з ними у зразку з 15% ІСБ формостійкість виробів була меншою, однак залишалася на рівні контролю.

Узагальнюючи результати пробного лабораторного випікання, варто зазначити, що обмеженням використання ІСБ у кількості 15% до маси борошна є значні погіршення структурно-механічних властивостей тіста, що ускладнювало оброблення тістових заготовок. Технологічно доцільним є дозування ІСБ в кількості 10% до маси борошна, що дає змогу сформувати у виробах високі органолептичні показники та фізико-хімічні, адже саме за цього дозування отримано найбільші питомий об'єм і формостійкість виробів.

Оскільки за пробним лабораторним випіканням було виявлено, що внесення 10% до маси борошна ІСБ зумовлює формування виробів з більшим об'ємом і більш розпушеною структурою м'якушки, то було припущено, що можливо значну роль у цьому має інтенсифікація процесів бродіння. Тому досліджено перебіг процесу бродіння в контрольному зразку тіста та дослідному, що містив 10% до маси борошна ІСБ за динамікою виділення вуглекислого газу. На рис. 2 наведено графік з кривими динаміки виділення вуглекислого газу.

Аналіз кривих показав, що для контрольного і дослідного зразків характер бродіння двостадійний з формуванням двох піків виділення вуглекислого газу. Перший пік виділення вуглекислого газу характеризується зброджуванням власних цукрів борошна та сахарози, внесеної за рецептурою (2% до маси борошна), а другий пік — зброджуванням мальтози, що накопичилася у тістовій системі внаслідок гідролітичного розщеплення крохмалю під дією β-амілази. На кривих відзначено, що перебудова дріжджів на зброджування мальтози і в контролі, і в зразку з

ізолятом відбувається на 120 хв бродіння. При цьому до моменту формування на кривих першого піку, що відбувається на 90 хв бродіння для обох зразків, динаміка виділення вуглекислого газу в контрольному зразку була вищою, ніж у зразку з ізолятом. Після досягнення першого піку динаміка виділення вуглекислого газу в зразку з ізолятом підвищується, порівняно з контролем.

Рис. 2. Графік динаміки виділення вуглекислого газу в тісті

Пояснення такого характеру бродіння може полягати в тому, що ізолят сироваткових білків маючи високі гідрофільні властивості, що обумовлює його високу розчинність під час замішування тіста, конкурує з іншими полімерами (білками клейковини та крохмалем) за воду й утворює у структурі тіста прошарки з розчином сироваткових білків. Збільшення концентрації сухих речовин у рідкій фазі тіста у зразку з ІСБ, порівняно з контролем, зумовлює незначне підвищення осмотичного тиску на дріжджові клітини, що, у свою чергу, дещо пригнічує бродильну активність дріжджів, тому в контролі на початку бродіння інтенсивність виділення вуглекислого газу була вищою. В процесі бродіння внаслідок споживання дріжджами цукрів концентрація сухих речовин у рідкій фазі тіста знижується, а також за цей час дріжджі нарощують свою бродильну активність. Підтвердженням цього є те, що після максимального зброджування власних цукрів борошна та сахарози (внесена за рецептурою), що досягається на 90 хв, інтенсивність бродіння в тісті з ізолятом зростає. Крім того, за цей період дріжджі адаптуються до такого складу рідкої фази тіста. Інтенсифікація бродіння в тісті з ізолятом після 90 хв бродіння, напевно, зумовлена покращеним складом рідкої фази тіста внаслідок того, що сироваткові білки виступають для дріжджів додатковим джерелом живлення у рідкій фазі тіста, а саме джерелом амінокислот (аргініну, гістідіну, метіоніну, лізину, треоніну, триптофану та лейцину). Для дріжджів амінокислоти одночасно є джерелом азоту і вуглецю, останній засвоюється із кетокислот, які утворюються в результаті відщеплення аміногруп. Унаслідок асиміляції дріжджами *Saccharomyces cerevisiae* амінокислот забезпечується синтез білка, в тому числі і

ферментів, активуються деякі ферменти, які вже є в клітинах дріжджів, прискорюється процес брунькування дріжджових клітин та інтенсифікуються перебіг процесів бродіння.

Отже, було встановлено, що внесення ізоляту сироваткового білка не змінює характеру процесу бродіння у тісті, порівняно з контрольним зразком, але при цьому сприяє дещо більшому виділенню кількості вуглекислого газу в тісті з ізолятом після досягнення першого піку виділення вуглекислого газу.

Вивчення впливу ізоляту сироваткового білка на формування структурно-механічних властивостей проводили комплексним оцінюванням пружно-еластичних властивостей на альвеографі. Результати дослідження, отримані за допомогою альвеографа, наведені в табл. 3.

Таблиця 3. **Показники пружно-еластичних властивостей тіста за альвеографом** (n=3, p≥0,95, δ=3...5%)

Показники	Контрольний зразок (без ІСБ)	З внесенням 10 % до маси борошна ізоляту сироваткового білка
Пружність, P, мм	68	29
Розтяжність, L, мм	124	20
Відношення пружності до розтяжності P/L	0,55	1,45
Питома робота деформації, W, 10 о.а.	264	23
Індекс еластичності, Ie, %	57,8	0
Індекс розтяжності, G, мм	248	99,5

У разі внесення ізоляту сироваткового білка в тістовій системі відзначаються суттєві зміни у формуванні структурно-механічних властивостей тіста. Встановлено, що додавання ІСБ погіршує пружність тіста, а саме його здатність чинити опір деформації під дією тиску повітря, на 57%, а також знижує розтяжність тіста, тобто довжину, на яку тісто може розтягнутися до розриву на 84%. Такі суттєві зміни обумовлюють зміни в балансі пружно-еластичних властивостей тіста (P/L). Встановлено, що в контролі P/L становить 0,55, що відповідає середньому діапазону цього показника, що є характерно для борошна зі збалансованими показниками. У зразку з ІСБ відношення пружності до розтяжності становить 1,45, що характерно для тіста малорозтяжного, за цим показником може здатися, що тісто з такими показниками буде характеризуватиметься як сильне, однак у це оманливий висновок і підтвердженням цього є те, що питомою роботою деформації було виявлено, що внесення ІСБ зумовлює формування дуже слабкого за силою тіста. При цьому значно погіршуються його показники індексів еластичності та розтяжності. В той час, як для контролю індекс еластичності становить 57,8%, що характерно для тіста, яке достатньо еластичне та добре відновлює свою форму, то у випадку з внесенням ізоляту індекс еластичності становить 0, що характеризує тісто як взагалі нееластичне і нездатне повертатися до початкової форми. Індекс розтяжності тіста G, який визначається як довжина розтягнутої бульбашки (в міліметрах) перед її розривом, свідчить, що тісто з ізолятом має низьку розтяжність, яка у 2,5 раза менша, ніж у контролі.

Отже, дослідження структурно-механічних властивостей тіста показало, що додавання ізоляту сироваткового білка зумовлює формування тіста дуже слабкого за силою, що має низьку пружність і втрачає еластичність.

Для пояснення виявлених змін у структурно-механічних властивостях тіста проведено дослідження стану клейковини у разі додавання до борошна ізоляту сироваткових білків.

Сироваткові білки, з яких складається досліджуваний ізолят, представленні альбумінами та глобулінами, які є водорозчинними фракціями і не беруть участі в утворенні клейковинної сітки. Включення ізоляту сироваткових білків у тістову систему підвищуватиме в ній загальний вміст білкових речовин, проте вони не здатні утворити клейковину.

Для встановлення впливу ізоляту сироваткових білків на формування клейковини проводили її відмивання з контрольного зразка, що замішували з 100 г борошна та 56 см^3 води, та дослідного зразка, замішаного з 100 г борошна, 10 г ІСБ та 56 см^3 води. Замішані зразки тіста залишали на 20 хв для набухання клейковини, після чого проводили її відмивання та контролювали якість. Показники якості клейковини наведено в табл. 4.

Таблиця 4. **Показники якості клейковини** (n=3, p≥0,95, δ 3…5%)

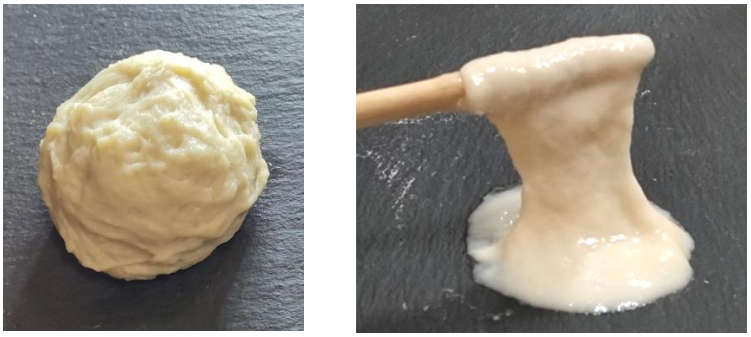
Показники	Контрольний зразок (без ІСБ)	З додаванням 10% до маси борошна ІСБ
Кількість сирої клейковини, %	27,5	9,2
Розтяжність, см	11,0	7,0
Еластичність	Хороша	Незадовільна
Колір	Світлий з жовтим відтінком	Світлий з жовтим відтінком
Характеристика структури	Пружна властива клейковині	В’язка маса, нееластична, нерозтяжна, швидко розривається

Під час відмивання було встановлено, що в борошні першого сорту (контроль) кількість сирої клейковини відповідає вимогам ГСТУ 46.004-99, за «силою» вона середня, а за якістю клейковини відноситься до першої групи, тобто хороша.

У процесі відмивання клейковини з дослідного зразка було виявлено, що відмити клейковину дуже складно, складається враження, що значна частина білків клейковини перейшла у водорозчинний стан та відмивається з водою, а та частина, що залишається має вигляд в’язкої маси, що ледь утримується в руках.

Встановлено, що внесення ІСБ зумовило зменшення кількості клейковини на 67%, порівняно з контролем. За зовнішнім виглядом це в’язка, нееластична, непружна, дуже липка маса. Для порівняння зовнішнього вигляду клейковини контрольного та дослідного зразків на рис. 3 наведено фото клейковини.

Під час аналізу встановлено, що клейковина зі зразка з ізолятом характеризувалася незадовільною еластичністю, тобто нездатна повертати свою форму після деформації. Поряд з цим, було встановлено, що клейковина за розтяжністю 7 см характеризується як коротка, однак така розтяжність обумовлена не пружністю клейковини, а саме відсутністю пружності, клейковина мала вигляд в’язкої, нерозтяжної маси, що швидко розривалася при розтягуванні.



Контроль 10 % ІСБ

Рис. 3. Фото зовнішнього вигляду клейковини

Отримані властивості клейковини, зокрема втрата нею еластичності та пружності, були причиною зміни структурно-механічних властивостей тіста у разі додавання ізоляту сироваткових білків.

Причинами такого впливу ізоляту сироваткових білків на якість клейковини та структурно-механічні властивості тіста можуть бути:

1) висока водопоглинальна здатність ізоляту сироваткових білків: у середньому ізолят може зв'язувати воду до 400—600% від власної маси, в той час як пшеничне борошно стандартної якості має водопоглинальну здатність близько 58—65% від власної маси. Ця здатність ізоляту вища, ніж у борошна, через те, що сироваткові білки мають більше гідрофільних амінокислотних залишків, які активно зв'язують молекули води, ніж глютенові білки пшениці. Ізолятом вода зв'язується переважно на молекулярному рівні через гідрофільні взаємодії. Внаслідок високої гідрофільності сироваткових білків при внесенні ізоляту під час замішування тіста відбувається конкурентне з клейковиною та крохмалем зв'язування води сироватковими білками, які, внаслідок їх розчинності, утворюють розчини в прошарках тіста. У такому випадку для набухання білків клейковини залишається менше води і клейковина формується повільніше. Висока водопоглинальна здатність ізоляту зумовлює утворення у структурі тісті в більшій кількості рідкої фази тіста, що є причиною появи липкості тіста;

2) утворення зв'язків при взаємодії сироваткових білків із білками клейковини: сироваткові білки можуть утворювати дисульфідні зв'язки з глютеніном, який є основним компонентом клейковини, та відповідає за міцність клейковини. Ймовірно, це зумовлює порушення структури клейковини. Крім того, зважаючи на високу гідрофільність сироваткових білків, вони взаємодіють із водою, утворюючи водневі зв'язки, що впливають на доступність води для глютенових білків, а також можуть формувати водневі зв'язки з полярними групами гліадину та глютеніну, що також призводить до ослаблення структури клейковини. Сироваткові білки також містять неполярні ділянки, які можуть взаємодіяти з неполярними ділянками гліадину або глютеніну, утворюючи слабкі гідрофобні зв'язки, що, у свою чергу, впливає на реологічні властивості тіста, погіршуючи розтяжність та стабільність;

3) сироваткові білки можуть утворювати слабкі гелеподібні структури під час замішування тіста внаслідок чого вони частково огортаючи клейковину не дають змоги сформувати міцний каркас, і цим розслабляють тісто.

Усі зазначені вище пояснення обумовлюють розукріплення структури клейковини, що призводить до переходу частини клейковинних білків у рідку та проміжну фазу тіста, які відмиваються під час визначення кількості клейковини, а клейковинні білки, що залишилися, внаслідок структурних змін, втрачають здатність утворювати пружно-еластичну масу.

Отже, сироваткові білки, представлені в основному альбумінами та глобулінами, мають значний вплив на клейковину, змінюючи її структуру та функціональні властивості, внаслідок чого розслабляється структура тіста, воно втрачає свою еластичність і пружність.

Однак за результатами пробного лабораторного випікання було виявлено, що за дозування 10% до маси борошна ІСБ вироби мають значно більший об'єм і формостійкість виробів, ніж у контролі. При цьому попередніми дослідженнями було встановлено, що в період бродіння та вистоювання тістових заготовок, газоутворення в цьому тісті було не настільки більшим, як у контролі, щоб зумовити значне покращання об'єму та формостійкості виробів при встановленому погіршенні структурно-механічних властивостей тіста. Тому наступним етапом дослідження було визначення впливу ізоляту сироваткових білків на газоутримувальну здатність тіста.

Газоутримувальна здатність тіста є комплексним показником, що показує баланс у тісті пружно-еластичних властивостей тіста, тобто здатності тіста одночасно розтягуватися під час бродіння внаслідок збільшення кількості та об'єму газових пухирців та утримувати цей вуглекислий газ. Газоутримувальну здатність оцінюють за змінюю питомого об'єму тіста. Визначення об'єму тіста проводили кожні 30 хв протягом 4 годин. Результати дослідження представлено на рис. 4.

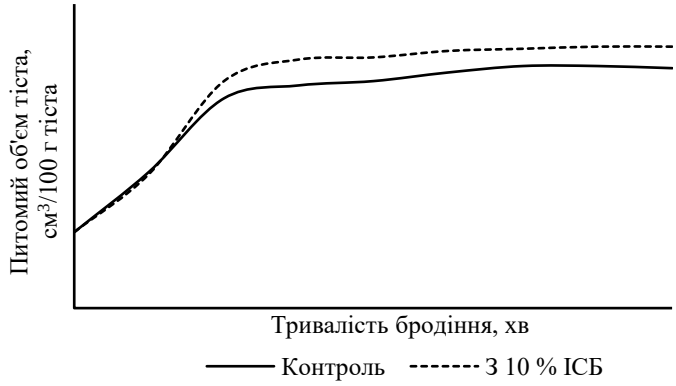


Рис. 4. Питомий об'єм тіста контрольного зразка та зразка з додаванням 10% ізоляту сироваткового білка

Встановлено, що після 30 хв бродіння у зразку з ізолятом сироваткових білків питомий об'єм тіста стає більшим, ніж у контролі, і ця закономірність зберігається протягом всього періоду бродіння. Відзначено, що в середньому питомий об'єм тіста з ізолятом був на 10% більшим, ніж у контролі. Пояснення такого покращуючого ефекту ізоляту сироваткових білків на газоутримувальну здатність тіста

може полягати в тому, що в цій тістовій системі зменшується поверхневий натяг. Причиною цього може бути те, що при взаємодії сироваткових білків і білків клейковини внаслідок формування нових зв'язків між ними частина білків клейковини переходить у проміжну фазу тіста. Проміжна фракція білків пшениці, представлена глобулінами та альбумінами, діє як зв'язуючи елемент між основними клейковинними білками, що забезпечує формування тістової структури, яка здатна витримувати тиск вуглекислого газу, сприяючи стабільності газових комірок та запобіганню їх злиття. Поряд з цим сироваткові білки також здатні адсорбуватися на межі фаз тістової системи (рідкої та газової), створюючи білковий шар, що також зумовлює зниження поверхневого натягу та стабілізує газові комірки в структурі тіста, сприяючи більшому утриманню ними вуглекислого газу.

У попередніх дослідженнях було виявлено, що внесення ізоляту сироваткових білків зумовлює формування слабкого тіста, тому таке тісто буде легше розпушуватися вуглекислим газом, що виділяється під період бродіння та вистоювання тістових заготовок. Покращання газоутримувальної здатності тіста з ізолятом, поряд з легким розпушенням тістової заготовки внаслідок розслаблення тістової системи та дещо більшим виділенням вуглекислого газу, сприяє формування більшого об'єму виробів.

Для забезпечення оптимальних умов виготовлення виробів з використанням ізоляту сироваткових білків, які б забезпечували досягнення балансу структурно-механічних властивостей тіста та максимальне накопичення вуглекислого газу у період вистоювання тістових заготовок, рекомендовано передбачити тривалість бродіння тіста 45—60 хв.

Висновки

За результатами досліджень встановлено, що оптимальним дозуванням ізоляту сироваткових білків, що забезпечує високу якість булочних виробів, поряд зі збагаченням їх білковими речовинами, є 10% до маси борошна.

Встановлено, що покращання, порівняно з контролем, об'єму, формостійкості та пористості виробів з ІСБ, при виявленому погіршенні якості тіста з ізолятом, забезпечується збільшенням газоутримувальної здатності цього тіста.

У виготовленні виробів з додаванням 10% ізоляту сироваткових білків для зменшення розслаблення та розрідження тіста рекомендовано обмежити тривалість його бродіння. За даними динаміки виділення вуглекислого газу можна рекомендувати тривалість бродіння тіста 45—60 хв, щоб максимальне виділення вуглекислого газу припадало на період вистоювання тістових заготовок. Для цього періоду технологічного процесу також характерним буде покращання газоутримувальної здатності тістових заготовок. У комплексі це забезпечить формування виробів з високими показниками якості.

Подяка

Дослідження було виконане в рамках держбюджетної науково-дослідної роботи «Наукове обґрунтування та розроблення ресурсоефективних технологій харчової продукції цільового призначення як імператив продовольчої безпеки» 0123U102060.

Література

Almoraie, N. M., Saqaan, R., Alharthi, R., Alamoudi, A., Badh, L., & Shatwan, I. M. (2021). Snacking patterns throughout the life span: potential implications on health. *Nutrition Research*, 91, 81—94. https://doi.org/10.1016/j.nutres.2021.05.001.

Balivo, A., d'Errico, G., Genovese, A. (2024). Sensory properties of foods functionalised with milk proteins. *Food Hydrocolloids*, 147, 109301. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109301.

Bharti, A., & Kulshrestha, K. (2019). Childhood obesity: An overview. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, 8(1), 963—980. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.801.105.

Camargo, L. D. R., Doneda, D., & Oliveira, V. R. (2020). Whey protein ingestion in elderly diet and the association with physical, performance and clinical outcomes. *Experimental Gerontology*, 137, 110936. https://doi.org/10.1016/j.exger.2020.110936.

Chapelot, D. (2011). The role of snacking in energy balance: a biobehavioral approach. *J. Nutr.*, 141, 158—162. https://doi.org/ 10.3945/jn.109.114330.

Díaz-Ramírez, M., Calderon-Dominguez, G., Garcia-Garibay, M., Jimenez-Guzman, J., Villanueva-Carvajal, A., Salgado-Cruz, M., Paz, P., & Moral-Ramirez, E. (2016). Effect of whey protein isolate addition on physical, structural and sensory properties of sponge cake. *Food Hydrocoll*, 61, 633—639. https://doi.org/ 10.1016/j.foodhyd.2016.06.020.

Дробот, В. І. (Ред.). (2015). *Технохімічний контроль сировини та хлібобулочних і макаронних виробів*. Київ: Кондор-Видавництво.

ДСТУ 4111.4-2002 Борошно пшеничне. Фізичні характеристики тіста. Частина 4. Визначення реологічних властивостей альвеографом (ISO 5530-4:1991, MOD). Київ: ДП «УкрНДНЦ».

Erben, M., & Osella, C. (2017). Optimization of mold wheat bread fortified with soy flour, pea flour and whey protein concentrate. *Food Sci. Technol. Int*., 23, 457—468. https://doi.org/10.1177/1082013217701583.

Galenko, O., Shevchenko, A., Ceccanti, C., Mignani, C., & Litvynchuk, S. (2024). Transformative shifts in dough and bread structure with pumpkin seed protein concentrate enrichment. *European Food Research and Technology*, 250, 1177—1188. https://doi.org/10.1007/s00217-023-04454-z.

Gani, A., Broadway, A., Masoodi, F., Abas, A., Wani, A., Maqsood, S., & Ashwar, B. (2015). Enzymatic hydrolysis of whey and casein protein-effect on functional, rheological, textural and sensory properties of breads. *J. Food Sci. Technol.*, 52, 7697—7709. https://doi.org/10.1007/s13197-015-1840-1.

Herranz, B., Canet, W., Jiménez, M., Fuentes, R., & Alvarez, M. (2016). Characterisation of chickpea flour-based gluten-free batters and muffins with added biopolymers: Rheological, physical and sensory properties. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 51, 1087—1098. https://doi.org/ 10.1111/ijfs.13092.

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.

Jeewanthi, R. K. C., Lee, N.-K., & Paik, H.-D. (2015). Improved Functional Characteristics of Whey Protein Hydrolysates in Food Industry. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources. Korean Society for Food Science of Animal Resources*, 35(3), 350—359 https://doi.org/10.5851/kosfa.

Juul, F., Vaidean, G., & Parekh, N. (2021). Ultra-processed Foods and Cardiovascular Diseases: Potential Mechanisms of Action. *Advances in Nutrition*, 12(5), 1673—1680. https://doi.org/10.1093/advances/nmab049.

Jyotsna, R., Sai Manohar, R., Indrani, D., & Venkateswara Rao, G. (2007). Effect of Whey Protein Concentrate on the Rheological and Baking Properties of Eggless Cake. *International Journal of Food Properties*, 10(3), 599—606. https://doi.org/10.1080/10942910601048986.

Jyotsna, R., Soumya, C., Swati, S., & Prabhasankar, P. (2016). Rheology, texture, quality characteristics and immunochemical validation of millet based gluten free muffins. *J. Food Meas. Charact.*,10, 762—772. https://doi.org/ 10.1007/s11694-016-9361-9.

Kochubei-Lytvynenko, O. Bilyk, O., Bondarenko, Yu., & Stabnikov, V. (2022) *Bioenhancement and Fortification of Foods for a Healthy Diet: Whey Proteins in Bakery Products*. Boca Raton: CRC Press.

Криворучко, М. (2018). Пружно-в'язкісні характеристики тістових композицій з кокосовою клітковиною. *Товари і ринки*, 3, 99—108. http://tr.knute.edu.ua/files/2018/03(27)/99_108_Kryvoruchko.pdf.

Labuschagne, M., Guzmán, C., Crossa, J., & Biljon, A. (2023). Determining factors of durum wheat bread loaf volume and alveograph characteristics under optimal, drought and heat stress conditions. *Journal of Cereal Science*, 114, 103791. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2023.103791.

Livney, Y. D. (2010). Milk proteins as vehicles for bioactives. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 15(1—2), 73—83. https://doi.org/10.1016/j.cocis.2009.11.002.

Macedo, C., Nunes, M. C., Sousa, I., & Raymundo, A. (2020). Rheology Methods as a Tool to Study the Impact of Whey Powder on the Dough and Breadmaking Performance of Wheat Flour. *Fluids*, 5(2), 50. https://doi.org/10.3390/fluids5020050.

Madenci, A., & Bilgicli, N. (2014) Effect of whey protein concentrate and buttermilk powders on rheological properties of dough and bread quality. *J. Food Qual*, 37, 117—124. https://doi.org/10.1111/jfq.12077.

Mesta-Corral, M., Gómez-García, R., Balagurusamy, N., Torres-León, C., & Hernández-Almanza, A. Y. (2024). Technological and Nutritional Aspects of Bread Production: An Overview of Current Status and Future Challenges. *Foods*, 13(13), 2062. https://doi.org/10.3390/foods13132062.

Mestawet, A. T., France, T. C., Mulcahy, P. G. J., & O'Mahony, J. A. (2024). Microfiltration retentate co-product from whey protein isolate production — Composition, processing, applications and potential for value addition. Trends in *Food Science & Technology*, 153, 104739 https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104739.

Mezzomo, T. R., & Nadal, J. (2014). A segurança alimentar e nutricional do público infanto-juvenil: O leite como componente. *Demetra*, 9, 503—513. https://doi.org/10.12957/demetra.2014.9485.

Minj, S., & Anand, S. (2020). Whey Proteins and Its Derivatives: Bioactivity, Functionality, and Current Applications. *Dairy*, 1(3), 233—258. https://doi.org/10.3390/dairy1030016.

Munteanu, G. M., Voicu, G., Ferdeș, M., Ștefan, E. M., Constantin, G. A., & Tudor, P. (2019). Dynamics of fermentation process of bread dough prepared with different types of yeast. *Scientific Study & Research*, 20(4), 575—584. http://surl.li/mbxyjm.

Nammakuna, N., Barringer, S., & Ratanatriwong, P. (2016). The effects of protein isolates and hydrocolloids complexes on dough rheology, physicochemical properties and qualities of gluten-free crackers. *Food Sci. Nutr*., 4,143—155. https://doi.org/ 10.1002/fsn3.266.

Nastaj, M., Sołowiej, B. G., Terpiłowski, K., Kucia, W., Tomasevic, I. B., & Podkościelna, J. (2024). Effects of whey proteins and erythritol combination on the physical and quality characteristics of untempered, high-protein white chocolates without the saccharose addition. *International Dairy Journal*, 157, 106007. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2024.106007.

Nongonierma, A. B., & FitzGerald, R. J. (2015). Bioactive properties of milk proteins in humans: A review. *Peptides*, 73, 20—34. https://doi.org/10.1016/j.peptides.2015.08.009.

Paraskevopoulou, A., Donsouzi, S., Nikiforidis, C., & Kiosseoglou, V. (2015). Quality characteristics of egg-reduced pound cakes following WPI and emulsifier incorporation. *Food Res. Int.*, 69, 72—79. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.12.018.

Patel, S. (2015). Emerging trends in nutraceutical applications of whey protein and itsderivatives. *J. Food Sci. Technol*., 52(11), 6847—6858. https://doi.org/10.1007/s13197-015-1894-0.

Phillips, S. (2017). Current Concepts and Unresolved Questions in Dietary Protein Requirements and Supplements in Adults. *Frontiers in Nutrition*, 4, 1—10. https://doi.org/10.3389/fnut.2017.00013.

Sarabhai, S., Indrani, D., Vijaykrishnaraj, M., Milind, A., Kumar, V., & Prabhasankar, P. (2015). Effect of protein concentrates, emulsifiers on textural and sensory characteristics of gluten free cookies and its immunochemical validation. *J. Food Sci. Technol.*, 52, 3763—3772. https://doi.org/10.1007/s13197-014-1432-5.

Shah, N. H. (2014). Effect of health on Nutrition/Dairy foods and human nutrition. *The International Journal of Indian Psychology*, 2, 60—64. https://doi.org/ 10.25215/0201.009.

Sharma, K., & Chauhan, E. S. (2018). Multifaceted Whey Protein: Its Applications in Food Industry. *Int. J. Health Sci. Res*, 8, 262—268. https://www.ijhsr.org/IJHSR_Vol.8_Issue.10_Oct2018/38.pdf.

Shevchenko, A., Drobot, V., & Galenko, O. (2022). Use of pumpkin seed flour in preparation of bakery products. *Ukrainian Food Journal*, 11, 90—101. https://doi.org/ 10.24263/2304-974X-2022-11-1-10.

Sinha, R., Cheruppanpullil, R., Prakash, J., & Kaultiku, P. (2007). Whey protein hydrolysate: Functional properties, nutritional quality and utilization in beverage formulation. *Food Chem.*, 101, 1484—1491. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.04.021.

Skendi, A., Papageorgiou, M., & Varzakas, T. (2021). High protein substitutes for gluten in gluten-free bread. *Foods*, 10, 1997. https://doi.org/ 10.3390/foods10091997.

Soliman, N., Soliman, A., Alyafei, F., Elsiddig, S., Alaaraj, N., Hamed, N., Ahmed, Sh., & Itani, M. (2024). The varied effects of protein intake during infancy, childhood, and adolescence: Associations with growth metrics, body composition, and pubertal development timelines. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 21(3), 657—666. https://doi.org/ 10.30574/wjarr.2024.21.3.0769.

Song, X., Perez-Cueto, F., & Bredie, W. (2018). Sensory-driven development of protein-enriched rye bread and cream cheese for the nutritional demands of older adults. *Nutrients*, 10, 1006. https://doi.org/10.3390/nu10081006.

Stantiall, S. E., & Serventi, L. (2017) Nutritional and sensory challenges of gluten-free bakery products: A review. *Int. J. Food Sci. Nutr.*, 69, 427—436. https://doi.org/10.1080/09637486.2017.1378626.

Tugault-Lafleur, C. N., & Polsky, J. Y. (2024). Temporal snacking patterns among Canadian children and adolescents. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism*, 49(10), 1353—1362. https://doi.org/ 10.1139/apnm-2024-0059.

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, 860—866. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.08.013.

Xiong, T., Wu, Y., Hu, J., Xu, S., Li, Y., Kong, B., ..., & Li, Y. (2023). Associations between High Protein Intake, Linear Growth, and Stunting in Children and Adolescents: A Cross-Sectional Study. *Nutrients*, 15(22), 4821. https://doi.org/ 10.3390/nu15224821.

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. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.08.110.

Zhu, L., Snider, L., Vu, T. H., Desam, G. P., Herald, T. J., Dogan, H., & Alavi, S. (2023). Effect of Whey Protein Concentrate on Rheological Properties of Gluten-Free Doughs and Their Performance in Cookie Applications. *Sustainability*, 15, 10170. https://doi.org/ 10.3390/su151310170.

Зміст журналу
«Наукові праці Національного університету харчових технологій»
за 2024 рік

Автоматизація та інформаційні технології

Залозний Р. В., Заєць Н. А. Системний аналіз і структура керування аквапонними системами № 1

Паровенко М. Д., Смітюх Я. В. Розроблення імітаційної моделі сусловарильного апарата із зовнішнім нагрівачем № 1

Бондаренко Є. А., Пупена О. М. Практичні підходи до підготовки та створення підсистем ідентифікації стану технологічного обладнання і засобів автоматизації на основі машинного зору та нейромереж № 1

Міркевич Р. М., Клименко О. М., Міркевич О. М., Полупан В. В., Міркевич Ю. С. Алгоритми і технології перетворення 2D рисунків у програми траєкторій руху роботів № 2

Луцька Н. М., Омельченко О. С. Особливості застосування віртуальних аналізаторів у цифровій інфраструктурі промислового виробництва № 2

Новак М. С., Харкянен О. В. Автоматизація процесу валідації методів визначення теплових показників вогнезахисних покривів на конструкціях будівель харчової промисловості № 3

Михалюк А. П., Міркевич Р. М. Сучасний стан та аналіз кібербезпеки автоматизованих систем керування технологічними процесами та автоматизованих систем управління виробництвом № 4

Скригун В. О., Сєдих О. Л., Грибков С. В. Інформаційна технологія для моделювання та управління екосистемою ІТ-проєкта № 4

Новак М. С., Смітюх Я. В. Автоматизація керування тепловим станом сталевих конструкцій будівель харчової промисловості на основі валідації модифікованих методів визначення теплових показників їхніх вогнезахисних покривів № 5

Залозний Р. В., Заєц Н. А. Математичне моделювання процесів біофільтрації в аквапонних системах № 5

Безпека харчових продуктів і виробництв

Шульга О. С., Шульга С. І. Зміни в харчовому законодавстві України за 2023 рік № 2

Євтушенко О. В., Сірик А. О. Дослідження травматизму в галузі освіти № 4

Біотехнології

Грищенко М. І., Старовойтова С. О. Економічні, технологічні та нормативні аспекти глікозаміногліканів біотехнологічного походження в сучасній косметології № 1

Пирог Т. П., П'ятецька Д. В. Асоційовані з рослинами бактерії як продуценти поверхнево-активних речовин № 2

Скроцька О. І., Голубєв П. К. Використання дріжджів роду *Saccharomyces* та їх метаболітів для біосинтезу наночастинок № 2

Мірошніков І. М., Пенчук Ю. М., Фалалєєва Т. М., Цирюк О. І., Короткий О. Г. Біосинтез і характеристика пептидів з бактерицидною активністю № 2

Воронцов О. О., Середенко Є. І. Біотехнологічні методи одержання хірургічних ізолюючих матеріалів № 3

Белемець Т. О., Красінько В. О., Удимович В. М., Чегринець А. І. Потенційні ад'юванти та їх системи для створення новітніх вакцин № 4

Красько М. О., Резніченко Ю. М., Красінько В. О. Антагоністичні властивості дріжджових кілер-токсинів: біосинтез та практичне застосування № 5

Синявська Д. А., Грегірчак Н. М. Біотехнологія виробництва інноваційного мультиштамового пробіотика з наночастинками селену: продуценти діючої речовини та техніко-економічне обґрунтування лікарського засобу № 5

Воронцов О. О., Муренко К. М. Біосинтез пробіотичних культур для виробництва ковбасних виробів № 5

Хабленко А. Д., Даниленко С. Г., Дуган О. М., Стоцька О. В. Вивчення росту і утилізації основних вуглеводів пивного сусла штамом *Limosilactobacillus fermentum* № 6

Бондар Г. М., Красінько В. О. Вплив умов культивування на накопичення заліза в дріжджах роду *Saccharomyces* і перспективи їх використання № 6

Благодир Д. О., Пирог Т. П. Дія на комбіновані біоплівки комплексу ефірних олій з поверхнево-активними речовинами, синтезованими *Acinetobacter calcoaceticus* IMB B-7241 за наявності бактеріальних індукторів № 6

Економіка, менеджмент і маркетинг

Рудова А. Я., Драган О. І. Удосконалення піраміди корпоративної соціальної відповідальності підприємств харчової промисловості № 1

Бергер А. Д. Цифрова трансформація бізнесу в компаніях харчової індустрії № 1

Безпалько О. В., Гринюк Ю. М., Редька О. В. Гнучкий робочий графік на підприємстві: законодавче регулювання та особливості впровадження в HR-практику № 2

Овадюк В. О., Драган О. І. Збереження і розвиток персоналу компаній харчової промисловості під час війни № 3

Гарастовська А. В., Пєтухова О. М. Стан і тенденції розвитку молочної галузі України № 3

Рудова А. Я., Скопенко Н. С. Ризики при впровадженні соціально-відповідальних трудових практик на підприємствах харчової промисловості № 3

Страшинська Л. В., Гривківська О. В., Михайлик О. М. Структурні деформації у виробництві сільськогосподарської продукції та їх наслідки для продовольчої безпеки України № 3

Мардар М. Р., Устенко І. А., Агунова Л. В. Особливості маркетингового просування інноваційних м'ясопродуктів на споживчий ринок України № 3

Бокій О. В. Підходи до забезпечення продовольчої безпеки в умовах сучасних викликів № 5

Шеремет О. О., Шульган О. Л. Інтеграція методик Cynefin Framework та CARVER для прийняття рішень в умовах ризику № 5

Драган О. І. Професійна етика в системі менеджменту персоналу компаній харчової промисловості № 6

Рудова А. Я. Досвід сталого розвитку підприємств харчової промисловості № 6

Бергер А. Д. Холістичний підхід до маркетингового менеджменту підприємств харчової промисловості в умовах VUCA № 6

Механічна та електрична інженерія

Мазуренко О. Г., Декуша Л. В., Іванов С. О. Теплотермоелектричні пристрої вимірювання вологості і температури газових середовищ № 1

Балюта С. М., Копилова Л. О., Куєвда Ю. В., Кондрашевський М. С., Романюк В. Т. Синтез інтелектуальноої системи оцінки технічного стану обладнання системи електропостачання з фотоелектростанціями та накопичувачами енергії № 1

Філоненко В. М. Ефективність пароконтактної сушарки жому в енергетичному комплексі «Цукровий завод — ТЕЦ» № 2

Пономаренко В. В., Люлька Д. М., Якобчук Р. Л., Слюсенко А. М., Лементар С. Ю., Хитрий Я. С., Тимченко І. В. Оптимізація конструкції вузлів підведення рідини в скрубер Вентурі на основі CFD досліджень № 3

Доломакін Ю. Ю., Беседа С. Д., Бабанова О. І., Породько П. В. Дослідження гідродинаміки реакційної маси у реакторі-змішувачі № 3

Вольчин І. А., Гапонич Л. С., Шрайбер К. О. Використання інформаційних технологій для створення методу розрахунку викидів CO_2 на теплових електростанціях № 3

Гавва О. О., Кривопляс-Володіна Л. О., Доломакін Ю. Ю., Марцинкевич Л. В., Кохан А. А. Обгрунтування параметрів живильника клапанного типу адаптронного модуля дозування рідкої продукції № 4

Запорожець О. В., Володін С. О. Параметричний синтез мехатронної системи пневмотранспортування сипких продуктів № 4

Козак О. С., Теличкун Ю. С., Теличкун В. І. Визначення реологічних характеристик м'якушки батона для розрахунку параметрів процесу вакуумного охолодження № 4

Балюта С. М., Шестеренко В. Є. Інноваційний метод мінімізації коливань напруги в розосереджених системах електрозабезпечення № 5

Булій Ю. В., Куц А. М., Карпович І. В., Запорожець Ю. В. Інноваційна технологія переробки напівпродуктів і побічних продуктів у спиртовому виробництві № 6

Михайлов В. М., Загорулько О. Є., Загорулько А. М., Касабова К. Р., Шидакова-Каменюка О. Г., Дмитревський Д. В. Апаратурно-технологічні аспекти виробництва функціональних плодово-ягідних паст для пастильно-мармеладних виробів № 6

Харчові технології

Чернюшок О. А., Бірюк Ю. В. Удосконалення технології варених ковбасних виробів з використанням рослинних і молочних білків № 1

Білько М. В., Петровський А. М. Дослідження ароматичного комплексу та органолептичних характеристик витриманих пивних дистилятів № 1

Сімахіна Г. О. Ранжування кріопротекторів за ефективністю захисту біологічних структур від ушкоджень при низьких температурах № 1

Заморська І. Л., Смілянець О. В. Якість харчових продуктів з ягід суниці садової № 1

Тищенко В. І., Божко Н. В., Пасічний В. М., Божко С. Б., Маринін А. І. Дослідження динаміки окислювальних процесів напівкопчених ковбас у модифікованих оболонках № 1

Михалевич А. П., Поліщук Г. Є., Бандура У. Г., Осьмак Т. Г. Вплив білків на реологічні характеристики сумішей морозива на основі рідких концентратів сироватки № 2

Кучеренко В. М., Успаленко О. В., Марченко А. Ю. Нефільтровані вина в сучасному виноробстві: вплив відсутності фільтрації на фізико-хімічні та органолептичні показники № 2

Шевченко А. О., Літвинчук С. І. Зміни структурних одиниць у тісті та хлібі з пшеничного борошна з концентратом гарбузового протеїну і фосфоліпідами № 2

Сімахіна Г. О., Грегірчак Н. М., Науменко Н. В., Камінська С. В. Вітамінна цінність і мікробіологічна безпека заморожених плодів вишні при зберіганні № 2

Мусій Л. Я., Цісарик О. Й., Сливка І. М. Використання насіння соняшника в технології йогурту № 2

Капрельянц Л. В., Пожіткова Л. Г., Велічко Т. О., Охотська М. І., Білик О. А. Сучасні тренди в омікс-біотехнологіях — від геноміки до персоналізованих дієт. Частина 2 № 2

Сімахіна Г. О., Науменко Н. В., Михайлова Р. В., Маслійчук О. Б. Концептуальні засади формування комбінованого харчового раціону для екстремальних умов життєдіяльності № 3

Данілова К. О., Гріненко І. Г., Грушецький Р. І. Батат як перспективна сировина для одержання спирту етилового і крафтових напоїв на його основі № 3

Кочубей-Литвиненко О. В., Дубівко А. С., Висоцький О. О. Оцінювання цитотоксичності наночастинок ZnO альтернативним методом на білках плазми крові людини в умовах *in vitro* № 3

Білик О. А., Черідніченко О. О., Бондаренко Ю. В., Фаін А. В. Використання кисломолочних продуктів у виробництві бездріжджових хлібобулочних виробів № 3

Авдєєва Л. Ю., Макаренко А. А. Вплив гідромеханічних і температурних факторів на динамічну в'язкість гарбузового пюре № 3

Камбулова Ю. В., Дудзінський О. В., Кохан О. О., Непийвода В. О. Вивчення процесу структуроутворення цукеркової маси при виробництві помадних цукерок зі зворотними відходами № 3

Кирпіченкова О. М., Сильчук Т. А., Силка І. М. Використання рослинної сировини в технології борошняних кондитерських виробів у закладах ресторанного господарства № 4

Годунко Є. В., Заброда А. В., Бондаренко Ю. В., Білик О. А. Застосування лляної закваски спонтанного бродіння у виробництві рустикального хліба № 4

Михонік Л. А., Черкас О. І, Ситниченко Т. О., Лебеденко Т. Є., Хомич Г. П. Дослідження технологічних властивостей різних видів пшеничного цільнозернового борошна № 4

Радзієвська І. Г., Мельник О. П. Особливості осадження білків сої при виробництві тофу № 4

Успаленко О. В., Білько М. В., Кучеренко В. М. Методи зниження та видалення алкоголю з виноградних вин № 4

Сімахіна Г. О. Наукові підходи до вибору способу консервування ягід з мінімальними втратами вітамінного комплексу № 4

Воронцов М. А., Галенко О. О. Альтертнативні джерела харчових волокон та їх використання у технології емульгованих м'ясопродуктів № 4

Шульга С. І., Шульга О. С. Модифікація крохмалю хлорангідридом ацетилсаліцилової кислоти для потреб харчової промисловості та пакувальної індустрії № 5

Іващенко О. М., Бреус Н. М. Дослідження впливу гомогенізації молочних сумішей на формування фізико-хімічних показників йогурту з крохмалепродуктами № 5

Мороз І. А., Шемет В. Я., Дударєв І. М., Гулай О. І. Порівняння властивостей молока на рослинній основі з коров'ячим № 5

Пасічний В. М., Божко С. Б., Тищенко В. І., Божко Н. В. Функціонально-технологічні властивості модельних фаршів крафтових напівкопчених ковбасок з м'ясом баранини і рослинними наповнювачами № 5

Сильчук Т. А., Дробот В. І., Зуйко В. І., Бортнічук О. В., Нечипорук А. Ю. Підвищення харчової цінності хлібних паличок для закладів ресторанного господарства № 5

Лебеденко Т. Є., Кожевнікова В. О., Ткачук О. В., Євлаш В. В. Виробництво борошняної продукції: значення і завдання в продовольчій безпеці українців, проблеми і виклики сьогодення та післявоєнної трансформації № 5

Котляр Є. О., Єгоров Б. В., Левчук І. В. Сенсорні характеристики олійно-жирової продукції, отриманої з різних сортів персиків № 6

Михонік Л. А., Погорєлов І. С. Дослідження використання борошна зеленої гречки в технології простих сухарів № 6

Страшинський І. М., Грицай М. С. Вплив активних стабілізаторів на функціональні властивості м'ясних фаршів № 6

Паска М. З., Хромова М. В. Фізико-хімічні властивості якості сала свиней залежно від впливу хелатних сполук заліза № 6

Сидоренко В. О., Бабич І. М., Куц А. М. Наукові підходи до вибору нових сортів винограду Закарпаття для приготування ігристих вин № 6

Юкало В. Г., Дацишин К. Є., Солтис В. П. Вплив низько-температурного нагрівання на фракційний склад білків сироватки молока № 6

Бондаренко Ю. В., Білик О. А., Кочубей-Литвиненко О. В., Півоварова В. В., Крушинська А. С. Використання ізоляту сироваткових білків у виробництві булочних виробів № 6

Хімічні науки

Кроніковський О. І., Михалюк А. П., Кроніковська О. П., Стаднічук Н. О. Особливості комплексоутворення та аналітичні характеристики ациклічних поліетерів № 3

Стаднічук Н. О., Левицька Н. П., Деміч А. А., Кроніковський О. І. Актуальність визначення акриламіду в харчових продуктах і питній воді № 4

Ювілеї

Ковбаса В. М., Грищенко А. М., Кохан О. О. 75-річний ювілей кафедри технології хлібопекарських і кондитерських виробів та її здобутки № 4

Ковбаса В. М., Михонік Л. А. Вчитель, науковець, керівник № 4

Contents of the journal
"Scientific Works of the National University of Food Technologies"
for 2024

Automation and information technologies

Zaloznyi R., Zaiets N. System analysis and control structure of aquaponic systems № 1

Parovenko M., Smitiukh Y. Developing a simulation model of a wort kettle with an external heater № 1

Bondarenko Y., Pupena O. Practical approaches to the preparation and creation of subsystems for identification of the state of technological equipment and automation tools based on machine vision and neural networks № 1

Mirkevych R., Klymenko O., Mirkevych O., Polupan V., Mirkevych Y. Algorithms and technologies for converting 2D drawings into programs for robot movement trajectories № 2

Lutska N., Omelchenko O. Features of utilizing virtual sensors in the digital infrastructure of industrial production № 2

Novak M., Kharkianen O. Automatization of validation methods of thermal performance determination of fire protection coatings applied on the covering structures of the food industry enterprises № 3

Mykhaliuk A., Mirkevych R. The current state and analysis of cyber security of process control system and automated manufacturing management system № 4

Skryhun V., Sedykh O., Hrybkov S. Information technology for modeling and managing the IT project ecosystem № 4

Novak M., Smityukh Y. Automation of controlling the thermal state of steel structures of food industry buildings based on the validation of modified methods for determining the thermal performance of their fire protection coatings № 5

Zaloznyi R., Zaiets N. Mathematical modeling of biofiltration processes in aquaponic systems № 5

Food Products Safety and Occupational Health

Drychyk M., Shulga O. TACCP for the pasta production in accordance with the PAS 96:2017 methodology № 1

Shulga O., Shulga S. Food legislation changes of Ukraine for 2023 № 2

Yevtushenko O., Siryk A. Research of injuries in the education sector № 4

Biotechnologies

Hryshchenko M., Starovoitova S. Economic, technological and regulatory aspects of biotechnologically derived glycosaminoglycans in modern cosmetology № 1

Pirog T., Piatetska D. Bacteria associated with plants as producers of surfactants № 2

Skrotska O., Holubiev P. Use of *Saccharomyces* yeast and its metabolites for the biosynthesis of nanoparticles № 2

Miroshnikov I., Penchuk Y., Falalyeyeva T., Tsyryuk O., Korotkyi O. Biosynthesis and characterization of peptides with bacteriocidal activity № 2

Vorontsov O., Seredenko E. Biotechnological methods of obtaining surgical isolating materials № 3

Belemets T., Krasinko V., Udumovich V., Chegrynets A. Potential adjuvants and their systems for the creation of new vaccines № 4

Krasko M., Reznichenko Y., Krasinko V. Antagonistic properties of yeast killer toxins: biosynthesis and practical applications № 5

Syniavska D., Hrehirchak N. Biotechnology for the production of an innovative multistrain probiotic with selenium nanoparticles: active substance producers and feasibility study of the drug № 5

Vorontsov O., Murenko K. Biosynthesis of probiotic cultures for the production of sausage products № 5

Khablenko A., Danylenko S., Dugan O., Stotska O. Study of the growth and utilization of major carbohydrates in beer wort by the *Limosilactobacillus fermentum* strain № 6

Bondar H., Krasinko V. The influence of cultivation conditions on iron accumulation in *Saccharomyces* yeasts and their application prospects № 6

Blagodyr D., Pirog T. Action on combined biofilms of essential oil complex with surfactants synthesized by *Acinetobacter calcoaceticus* IMB B-7241 in the presence of bacterial inducers № 6

Economy, Management and Marketing

Rudova A., Dragan O. Improvement of the pyramid model of corporate social responsibility of the food industry enterprises № 1

Berher A. Digital transformation of business in food industry companies № 1

Bezpalko O., Hryniuk Y., Redka O. Flexible working schedule at the enterprise: legislation and features of implementation in HR-practice № 2

Ovadiuk V., Dragan O. Retention and development of personnel of food industry companies during the war № 3

Harastovska A., Pietukhova O. Condition and development trends of the dairy industry in Ukraine № 3

Rudova A., Skopenko N. Risks of implementing socially responsible labor practices in food industry companies № 3

Strashynska L., Hryvkivska O., Mykhailyk O. Structural deformations in the production of agricultural products and its consequences for food security of Ukraine № 3

Mardar M., Ustenko I., Agunova L. Peculiarities of marketing promotion of innovative meat products on the Ukrainian consumer market № 3

Bokiy O. Approaches to ensuring food security in the conditions of modern challenges № 5

Sheremet O., Shulgan O. Integration of the Cynefin Framework and carver methodologies in risk-based decision making № 5

Dragan O. Professional ethics in the personnel management system of food industry companies № 6

Rudova A. Experience of sustainable development of food industry enterprises № 6

Berher A. Holistic approach to marketing management of food industry enterprises in the context of VUCA № 6

Mechanical and Electrical Engineering

Mazurenko O., Dekusha L., Ivanov S. Heatthermoelectric devices for measuring humidity and temperature of gaseous media № 1

Baliuta S., Kopilova L., Kuievda Iu., Kondrashevsky M., Romaniuk V. Synthesis of the intellectual system for assessment of the technical condition of electrical supply system equipment with photoelectric plants and energy storage № 1

Filonenko V. Efficiency of the steam-contact dryer for beet pulp in the energy complex "Sugar plant — CHP plant" № 2

Ponomarenko V., Liulka D., Yakobchuk R., Slyusenko A., Lementar S., Khitriy Ya., Tymchenko I. Optimization of liquid supply nodes design in Venturi scrubbers based on CFD investigations № 3

Dolomakin Y., Beseda S., Babanova O., Porodko P. Study of the hydrodynamics of the reaction mass in a mixer reactor № 3

Volchyn I., Haponych L., Shraiber K. The use of information technology for developing a method for calculating CO_2 emissions from thermal power plants № 3

Gavva O., Kryvoplias-Volodina L., Dolomakin Y., Martsynkevych L., Kokhan A. Substantiation of the parameters of the valve-type feeder of the adaptronic module for dosing liquid product № 4

Zaporozhets O., Volodin S. Parametric synthesis of a mechatronic system for pneumatic conveying of bulk products № 4

Kozak O., Telychkun Y., Telychkun V. Determination of rheological characteristics of bread crumb for calculating the parameters of vacuum cooling process № 4

Baliuta S., Shesterenko V. An innovative method for minimizing voltage fluctuations in distributed power supply systems № 5

Bulii Y., Kuts A., Karpovych I., Zaporogets Y. Innovative technology for processing intermediates and by-products in alcohol production № 6

Mykhaylov V., Zagorulko O., Zahorulko A., Kasabova K., Shydakova-Kameniuka O., Dmytrevskyi D. Hardware and technological aspects of the production of functional fruit and berry paste for pastel and marmalade products № 6

Food Technologies

Chernyushok O., Biryuk Yu. Improving the technology of boiled sausages using plant and milk proteins № 1

Bilko M., Petrovskiy A. Study of the aromatic complex and sensory characteristics of aged beer distillates № 1

Simakhina G. Ranking the cryoprotectants by their effectiveness to protect the biological structures from damages under low temperatures № 1

Zamorska I., Smelyanets O. Quality of food products from garden strawberry berries № 1

Tischenko V., Bozhko N., Pasichnyi V., Bozhko S., Marynin A. Study of oxidative processes of semi-cooked sausages in modified casings № 1

Mykhalevych A., Polishchuk G., Bandura U., Osmak T. The influence of proteins on the rheological properties of ice cream mixes based on liquid whey concentrates № 2

Kucherenko V., Uspalenko O., Marchenko A. Unfiltered wines in modern winemaking: impact of non-filtration on physicochemical and sensory characteristics of filtration № 2

Shevchenko A., Litvynchuk S. Changes in structural units in wheat flour dough and bread with pumpkin seed protein concentrate and phospholipids № 2

Simakhina G., Gregirchak N., Naumenko N., Kaminska S. Vitamin value and microbiological safety of frozen cherries during storage № 2

Musii L., Tsisaryk O., Slyvka I. Use of sunflower seeds in yogurt technology № 2

Kaprelyants L., Pozhitkova L., Velichko T., Okhotska M., Bilyk O. Modern trends in omics-biotechnologies — from nutrigenomics to personalised diets. Part 2 № 2

Simakhina G., Naumenko N., Mykhailova R., Masliychuk O. Conceptual background for composing the combined diet for people living in extreme conditions № 3

Danilova K., Hrinenko I., Hrushetskyi R. Sweet potato as a promising raw material for producing ethyl alcohol and craft beverages based on it № 3

Kochubei-Lytvynenko O., Dubivko A., Vysotskyi O. Evaluation of the cytotoxicity of ZnO nanoparticles using an alternative method on human plasma proteins *in vitro* № 3

Bilyk O., Cheridnichenko O., Bondarenko Yu., Fain A. Use of dairy products in the production of yeast-free bakery products № 3

Avdieieva L., Makarenko A. Influence of hydromechanical and temperature factors on the dynamic viscosity of pumpkin puree № 3

Kambulova Yu., Dudzinskyi O., Kohan O., Nepyivoda V. Study of the process of structure formation of sugar mass in the production of fondant candies with return waste № 3

Kyrpichenkova O., Sylchuk T., Sylka I. Use of vegetable raw materials in the technology of flour confectionery products in restaurant industry № 4

Godunko Ie., Zabroda A., Bondarenko Yu., Bilyk O. Application of flax sourdough spontaneous fermentation in rustic bread production № 4

Mykhonik L., Cherkas I., Sytnychenko T., Lebedenko T., Khomych G. Technological research properties of different types of whole grain flourl № 4

Radzievska I., Melnyk O. Features of soybean protein precipitation in tofu production № 4

Uspalenko O., Bilko M., Kucherenko V. Methods of reducing and removing alcohol from grape wines № 4

Simakhina G. The scientific approaches to select a method for berries preservation with the minimal losses of vitamin complex № 4

Vorontsov M., Galenko O. Alternative sources of dietary fiber and their use in the technology of emulsified meat products № 4

Shulga S., Shulga O. Starch modification with acetylsalicylic acid chlorohydride for the food and packaging industry needs № 5

Ivashchenko O., Breus N. Research of the effect of homogenization of milk mixtures on the formation of physico-chemical indicators of yogurt with starch products № 5

Moroz I., Shemet V., Dudarev I., Hulai O. Comparison of properties of plant-based milk and cow's milk № 5

Pasichnyi V., Bozhko S., Tischenko V., Bozhko N. Functional and technological properties of model minced meat of kraft semi-smoked sausages with lamb meat and plant proteins № 5

Sylchuk T., Drobot V., Zuyko V., Bortnichuk O., Nechyporuk A. Increasing the food value of bread sticks for restaurant establishments № 5

Lebedenko T., Kozhevnikova V., Tkachuk O., Yevlash V. Manufacture of flour products: importance and goals for the food security of ukrainians; present problems and challenges and post-war transformation № 5

Kotliar Ye., Iegorov B., Levchuk I. Sensory characteristics of fat-and-oil products obtained from different peach cultivars № 6

Mykhonik L., Pohorielov I. Research on the use of green buckwheat flour in the technology of rusks № 6

Strashynskyi I., Hrytsai M. The impact of active stabilizers on the functional properties of minced meat № 6

Paska M., Khromova M. Physicochemical properties of pig fat quality depending on the influence of iron chelate compounds № 6

Sydorenko V., Babych I., Kuts A. Scientific approaches to the selection of new grape varieties of transcarpatia for the preparation of sparkling wines № 6

Yukalo V., Datsyshyn K., Soltys V. Influence of low-temperature heating on the fractional composition of milk whey proteins № 6

Bondarenko Yu., Bilyk O., Kochubei-Lytvynenko O., Pivovarova V., Krushynska A. Use of whey protein isolate in the production of bakery products № 6

Chemical sciences

Kronikovskii O., Mikhaliuk A., Kronikovska O., Stadnichuk N. Complex formation characteristics and analytical properties of acyclic polyethers № 3

Stadnichuk N., Levytska N., Demich A., Kronikovskyi O. Relevance of determining acrylamide in food products and drinking water № 4

ДО ВІДОМА АВТОРІВ

Шановні колеги!

Редакційна колегія журналу «Наукові праці Національного університету харчових технологій» запрошує вас до публікації наукових праць (https://sites.google.com/nuft.edu.ua/swnuft).

До друку приймаються рукописи, які раніше не були опубліковані в друкованих та електронних виданнях. Автор, який подає матеріали до друку, зберігає за собою всі авторські права та надає відповідному виданню право першої публікації, дозволяючи розповсюджувати матеріал із зазначенням авторства й джерела первинної публікації, а також погоджується на розміщення її електронної версії на сайті Національної бібліотеки ім. В. І. Вернадського та у відкритому доступі в електронній мережі університету. Автор надає право редакційній колегії на рецензування та відхилення поданих для опублікування матеріалів. В одному номері може бути видана лише одна стаття автора (як власна, так і в співавторстві).

На електронну адресу журналу (npnuht@nuft.edu.ua) 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 в електронній версії (редактор Microsoft Word, поля з усіх сторін по 2 см, Time New Roman, кегль 14, інтервал 1,5, абзац 0,5).

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 менший 20 сторінок (без урахування анотацій та списку використаних джерел). У дослідницькій статті повинно бути проаналізовано не менше 20 джерел. Обсяг оглядової статті має бути не менший 20 сторінок (без урахування анотацій та списку використаних джерел). В оглядовій статті повинно бути проаналізовано не менше 40 джерел.

Використання автоматичного перекладу наукового тексту (статті, анотації, ключових слів) не допускається. Переклад має бути належної якості.

Редакція залишає за собою право на наукове та літературне редагування рукопису.

ПОСЛІДОВНІСТЬ СТРУКТУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СТАТТІ

1. Індекс УДК.

2. Назва статті (англійською та українською мовами). Не варто формулювати назву статті, яка відображатиме практичні цілі та задачі (наприклад, «Розробка технології, обладнання, схеми автоматизації...» тощо). Назва статті повинна відображати наукові цілі.

3. Ініціали та прізвища авторів англійською та українською мовами.

4. Анотація англійською та українською мовами (приблизно 1800 символів з пробілами). Анотація має бути максимально інформативною, це окремий текстовий документ, у якому лаконічно викладені результати дослідження. Не рекомендується використовувати вирази («...отже, таким чином, на основі проведених експериментальних та аналітичних досліджень нами було встановлено...» тощо), варто одразу надавати конкретні результати. В анотації не можна посилатись на статтю («У статті наведено...»). Не варто обмежуватися констатацією наявності результату у статті, кожний результат потрібно лаконічно описати в анотації. 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.** Зокрема огляд наукових здобутків зарубіжних вчених. У статті мають бути проаналізовані напрацювання вчених з усього світу. На основі аналізу сучасних статей, зокрема з англомовних журналів, має бути доведена актуальність теми у світі, визначені питання, які потребують вирішення, сформульована мета дослідження;

- Матеріали і методи. Повинні бути розкриті в достатній мірі, щоб можна було відтворити дослід. Повинні бути посилання на кожний описаний метод (посилання на сучасні статті, де описано метод. Посилання на державні стандарти надавати не варто);

- Викладення основних результатів дослідження. Результати досліджень мають бути обґрунтовані, пояснені та порівняні з результатами інших авторів з усього світу. Редакцією не беруться до розгляду статті, у яких констатуються лише результати досліджень без детального пояснення і порівняння, адже така констатація не має наукової цінності. Потрібно навести отримані результати, їх математично-статистичний аналіз, детально пояснити кожен результат (чому саме такий результат — наукове пояснення), і порівняти їх із результатами інших вчених з усього світу. В кінці розділу необхідно навести перспективи подальших наукових досліджень;

- Висновки.

7. Після тексту статті в алфавітному порядку наводиться список літературних джерел. Бібліографічні описи оформляються згідно з міжнародним стилем APA.

Бібліографічний опис подається мовою видання. Не допускається посилання на неопубліковані матеріали. У переліку джерел мають переважати посилання на наукові праці останніх років. Наприкінці кожної публікації наводиться ідентифікатор DOI у форматі https://doi.org/....., якщо він є, або посилання на публікацію.

Також слід обмежити посилання на власні публікації, оскільки це знижує наукову цінність статті та індекс цитування автора. Не можна посилатись на національні стандарти, технічні умови, підручники, конспекти лекцій, лабораторні практикуми та іншу ненаукову літературу. Посилання на патенти слід робити в тексті статті, вказавши лише номер та назву патенту.

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 Microsoft Office Excel, Origin, Corel Draw. Усі елементи рисунка (типи, товщина і колір ліній, шрифт текстів тощо) мають вільно редагуватись 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 у рисунку — Times New Roman 9,5, ширина рисунка — до 13 см. 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. Індекси 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. Індекси, 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.

Відсутність будь-якого з пунктів переліку, зазначеного вище, рецензії, невідповідність вимогам до оформлення, наявність орфографічних, граматичних, стилістичних помилок, автоматичний переклад елементів матеріалу є підставою **для відмови** в прийнятті статті до друку.

Використання автоматичного перекладу наукового тексту (статті, анотації, ключових слів) **не допускається.** Переклад має бути належної якості.

Автор несе відповідальність за додержання вимог чинного законодавства при підготовці матеріалів, у тому числі норм авторського права і достовірність наведених фактичних даних (цитат, посилань, імен, назв тощо).

Адреса редакції:
Національний університет харчових технологій
вул. Володимирська, 68,
корпус Б, кім. 412,
м. Київ, 01601
Контактні телефони:
міський — (044) 287-92-95, внутрішній — 92-95.
E-mail: npnuht@nuft.edu.ua

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 (https://sites.google.com/nuft.edu.ua/ swnuft).

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 coauthored) per every issue of the Journal.

The following documents are necessary to be sent to the e-mail address of the journal (npnuht@nuft.edu.ua):

- 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 sub- mitted 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 20 references should be analyzed in the research paper. The length of the review article should be at least 20 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). It is not necessary to formulate the title of the article that will reflect practical goals and tasks (for example, "Development of technology, equipment, automation schemes..." etc. The title of the article should reflect scientific goals.
3. Initials and Last name of the authors in English, Ukrainian (no more than four authors).
4. An abstract in English, Ukrainian (about 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 sum-marized. It is not recommended to use expressions ("...therefore, on the basis of the experimental and analytical studies we have established..." etc.), it is better to immediately provide specific results. An abstract cannot refer to an article ("The article states..."). You should not limit yourself to stating the presence of a result in the article, each result should be succinctly described in the abstract. Direct repetitions of any parts of the article should be also avoided.
5. A list of key words (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 in particular, a review of the scientific achievements of foreign scientists. 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;
- **Description of materials and research methods;**
- **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 slyle 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. References to own publications should also be limited, as this reduces the scientific value of the article and the author's citation index.

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 Microsoft Office Excel, Origin, Corel Draw 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 by 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 Б, room 412,
Kyiv, Ukraine, 01601
E-mail: npnuht@nuft.edu.ua