



2023

НАУКОВІ ПРАЦІ НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Том 29 № 1

Журнал

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

КИЇВ ✧ НУХТ ✧ 2023

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

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

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

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

- Index Copernicus
- EBSCOhost
- Google Scholar

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

Editorial office address:

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

Recommended for publication by the Academic Council of the National University of Food Technologies. Minutes of meeting # 7 from 28th of February, 2023

© NUFT, 2023

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

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

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

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

- Index Copernicus
- EBSCOhost
- Google Scholar

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

Адреса редакції:

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

Рекомендовано вченою радою Національного університету харчових технологій.
Протокол № 7 від 28 лютого 2023 року

© НУХТ, 2023

Редакційна колегія

Склад редакційної колегії журналу

«Наукові праці Національного університету харчових технологій»

Головний редактор

Editor-in-Chief

Олександр Шевченко

Oleksandr Shevchenko

д-р техн. наук, проф., Україна

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

Відповідальний секретар

Accountable secretary

Анастасія Шевченко

Anastasiia Shevchenko

канд. техн. наук, доц., Україна

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

Члени редакційної колегії:

Агота Гедре Райшене

Agota Giedre Raisiene

д-р екон. наук, Литва

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

Атанаска Тенєва

Atanaska Teneva

д-р екон. наук, доц., Болгарія

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

Анатолій Заїнчковський

Anatoly Zainchkovskiy

д-р екон. наук, проф., Україна

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

Анатолій Ладанюк

Anatoly Ladanyuk

д-р техн. наук, проф., Україна

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

Андрій Маринін

Andrii Marynin

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

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

Браян Мак Кенна

Brian McKenna

д-р техн. наук, проф., Ірландія

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

Валерій Мирончук

Valerii Myronchuk

д-р техн. наук, проф., Україна

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

Василь Кишенько

Vasyl Kyshenko

канд. техн. наук, проф., Україна

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

Василь Пасічний

Vasyl Pasichnyi

д-р техн. наук, проф., Україна

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

В'ячеслав Івашук

Vyacheslav Ivashuk

д-р техн. наук, проф., Україна

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

Віктор Стабніков

Viktor Stabnikov

д-р техн. наук, проф., Україна

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

Володимир Зав'ялов

Volodymyr Zavialov

д-р техн. наук, проф., Україна

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

Галина Колісник

Halyna Kolisnyk

д-р екон. наук, проф., Україна

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

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

Біотехнології

Пирог Т. П., Вороненко А. А. Шляхи підвищення ефективності технологій синтезу мікробних екзополісахаридів. Частина 1. Встановлення оптимальних умов біосинтезу

Скροцька О. І., Цветков К. О., Пенчук Ю. М. Біотехнологічні особливості отримання органічних сполук, що використовуються у виробництві пластифікаторів

Економіка, менеджмент і маркетинг

Скопенко Н. С., Кириченко О. М., Євсєєва-Северина І. В. Діджиталізація бізнесу як запорука зростання конкурентоспроможності та успішного розвитку компаній у динамічному середовищі господарювання

Капінус Л. В., Бойко І. А., Лелека О. О. Організація маркетингових івентів у мережі Інтернет

Страшинський В. І., Шеремет О. О., Страшинська Л. В. Сучасний стан і перспективні напрями розвитку вітчизняного ринку олії та олійно-жирової продукції: якісний аспект

Механічна та електрична інженерія

Романюк В. Т. Пристрої на основі сплавів з ефектом пам'яті форми для підвищення надійності розбірних електричних контактних з'єднань

Харчові технології

Цинь С., Самілик М. М., Луо Я. Вплив харчових волокон рисових висівок і знежиреного кунжутного борошна на кисломолочний напій

Вовк Г. О., Носенко Т. Т. Вплив параметрів ферментативної обробки на вихід пресової гарбузової олії та її властивості

Самохвалова О. В., Касабова К. Р., Шидакова-Каменюка О. Г., Загорулько О. Є., Загорулько А. М. Оцінка якості мармеладу з додаванням багатокомпонентної плодово-ягідної пасти

Сімахіна Г. О., Науменко Н. В., Межубовський О. М., Камінська С. В. Формування споживчих властивостей високобілкових напівфабрикатів із культивованих грибів

Biotechnologies

7 *Pirog T., Voronenko A.* Ways for increasing the efficiency of technologies for the synthesis of microbial exopolysaccharides. Part 1. Establishing optimal conditions for biosynthesis

25 *Skrotska O., Tsvietkov K., Penchuk Yu.* Biotechnological features of receiving organic compounds for production of plasticizers

Economy, Management and Marketing

44 *Skopenko N., O. Kyrychenko, Yevsieieva-Severyna I.* Digitalization of business as a key to the growth of competitiveness and companies successful development in a dynamic business medium

57 *Kapinus L., Boiko I., Leleka O.* Organization of marketing Internet events

67 *Strashynskiy V., Sheremet O., Strashynska L.* Current state and prospective development directions of the domestic market of oil and oil fat products: a qualitative aspect

Mechanical and Electrical Engineering

84 *Romaniuk V.* Devices based on shape memory alloys for increasing reliability of bolted electrical contact connections

Food Technologies

97 *Qin X., Samilyk M., Luo Ya.* The influence of dietary fiber from rice bran and defatted sesame flour on fermented milk drink

108 *Vovk H., Nosenko T.* Influence of enzymatic treatment parameters on the press pumpkin oil yield and its properties

119 *Samokhvalova O., Kasabova K., Shydakova-Kameniuka O., Zagorulko A., Zahorulko A.* Assessment of the quality of marmalade with the addition of multicomponent fruit and berry paste

130 *Simakhina G., Naumenko N., Mezhubovsky O., Kaminska S.* Formation of consumer properties of high-protein semi-finished products from cultivated mushrooms

- Шевченко А. О.* Білкові речовини рисового борошна та його використання в технології пшеничного хліба 141 *Shevchenko A.* Protein substances of rice flour and its use in wheat bread technology
- Погорельська А. С., Павлюченко О. С., Кузьмін О. В., Польовик В. В., Силка І. М.* Теоретичні аспекти доцільності створення безглютеинових кексів, збагачених сиром кисло-молочним, для закладів ресторанного господарства 151 *Pohorelska A., Pavliuchenko O., Kuzmin O., Polevik V., Sylka I.* Theoretical aspects of appropriateness gluten-free cupcakes enriched with cottage cheese for restaurants
- Лудин А. М., Реутський В. В.* Вплив іонно-сольового складу води на якість пива 163 *Ludyn A., Reutskyy V.* Influence of ions-salt composition of water on the quality of beer
- Сапига В. Я., Поліщук Г. Є.* Вплив овочевих пюре різних способів оброблення на органо-лептичні та фізико-хімічні показники морозива молочного 173 *Sapiga V., Polischuk G.* Influence of vegetable purees processed by different methods on the sensory and physicochemical indicators of milk ice cream
- Скнар І. В., Миргородська-Терентьєва В. Д., Должиков С. С., Ніколенко М. В.* Клейстеризація картопляного крохмалю способом *in vitro* за надмірного вмісту води. 1. Кінетика процесу в ізотермічних умовах 187 *Sknar I., Myrhorodska-Terentieva V., Dolzhikov S., Nikolenko M.* *In vitro* gelatinization of potato starch with excessive water content. 1. Kinetics of the process in isothermal conditions

WAYS FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF TECHNOLOGIES FOR THE SYNTHESIS OF MICROBIAL EXOPOLYSACCHARIDES. PART 1. ESTABLISHING OPTIMAL CONDITIONS FOR BIOSYNTHESIS

T. Pirog, A. Voronenko

National University of Food Technologies

Key words:

Microbial exopolysaccharides

Optimization of the biosynthesis process

Single-factor studies

Multivariate experiments

Article history:

Received 23.01.2023

Received in revised form

06.02.2023

Accepted 17.02.2023

Corresponding author:

T. Pirog

E-mail:

tapirog@nuft.edu.ua

ABSTRACT

Conducting experiments in which only one factor is varied is the easiest way to establish the optimal conditions of producer cultivation. Usually, in such studies, a consistent determination of the nature and concentration of the carbon and nitrogen source, pH, temperature, duration of cultivation, as well as the method of inoculum preparation is carried out. Such single-factor studies remain an effective tool for the initial determination of the most critical factors which cause the greatest impact on the biosynthesis process and require additional optimization.

Further optimization of producer cultivation conditions using multivariate studies involves the use of various methods of mathematical planning of experiments, one of which is the Plackett-Burman design, which allows determining the level of influence on the process of a large number of variables while conducting a smaller number of experiments.

For the combined analysis of factors which have the greatest influence on the process of exopolysaccharides biosynthesis, other more complex mathematical models are usually used, in particular, the Box-Wilson method, the central composite design, or the Box-Behnken design. A significant advantage of the Box-Behnken design is that it does not contain combinations for which all factors are at the highest or lowest levels at the same time.

The analyzed literature data of recent years regarding ways to increase the efficiency of microbial exopolysaccharides technologies proved the need to use an integrated approach to solve this problem. So, at the first stage, it is necessary to establish the optimal composition of the nutrient medium. At the same time, the most modern approach is to conduct multifactorial studies using complex mathematical models, which take into account the interrelationship of various studied factors and make it possible to more accurately establish the optimal conditions of the cultivation process, which ensure increasing the concentration of microbial exopolysaccharides by 2—10 times compared to that before optimization.

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЙ СИНТЕЗУ МІКРОБНИХ ЕКЗОПОЛІСАХАРИДІВ. ЧАСТИНА 1. ВСТАНОВЛЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ УМОВ БІОСИНТЕЗУ

Т. П. Пирог, А. А. Вороненко

Національний університет харчових технологій

Проведення експериментів, в яких одночасно здійснюється варіювання лише однією змінною, є найбільш простим способом встановлення умов культивування продуцента, максимально наближених до оптимальних. Зазвичай, у таких дослідженнях проводиться послідовне визначення природи та концентрації джерела вуглецю й азоту, рН, температури, тривалості культивування, а також способу підготовки посівного матеріалу. Такі однофакторні дослідження залишаються ефективним інструментом для первинного визначення найбільш критичних факторів, які спричиняють найбільший вплив на процес біосинтезу і потребують додаткової оптимізації.

Подальша оптимізація умов культивування продуцента з використанням багатофакторних досліджень передбачає використання різних методів математичного планування експериментів, одним з яких є дизайн Плакета-Бурмана, що дає змогу визначити рівень впливу на процес великої кількості змінних при проведенні меншої кількості експериментів.

Для комбінованого аналізу факторів, які спричиняють найбільший вплив на процес біосинтезу екзополісахаридів, зазвичай, використовують інші комплексні математичні моделі, зокрема метод Бокса-Вілсона, центральний композиційний план або дизайн Бокса-Бенкена. Суттєва перевага дизайну Бокса-Бенкена полягає в тому, що він не містить комбінацій, для яких усі фактори одночасно перебувають на найвищому або найнижчому рівні.

Проаналізовані літературні дані останніх років щодо шляхів підвищення ефективності технологій мікробних ЕПС засвідчили необхідність застосування комплексного підходу для вирішення цього завдання. Так, на першому етапі необхідним є встановлення оптимального складу поживного середовища. При цьому найбільш сучасним підходом є проведення багатофакторних досліджень з використанням комплексних математичних моделей, які враховують взаємозв'язок різних досліджуваних факторів і дають змогу більш точно встановити оптимальні умови процесу культивування, що забезпечують підвищення концентрації мікробних екзополісахаридів у 2—10 разів порівняно з такою до оптимізації.

Ключові слова: мікробні екзополісахариди, оптимізація процесу біосинтезу, однофакторні дослідження, багатофакторні експерименти.

Постановка проблеми. Щорічно у світі відкриваються нові та поглиблено досліджуються вже відомі продуценти мікробних екзополісахаридів (ЕПС) (Rühmann, Schmid, & Sieber, 2015; Zayed та ін., 2021). Значний інтерес до практично цінних полімерів зумовлений здатністю до змінення реологічних характеристик

водних систем і наявністю різноманітних біологічних властивостей (бактерицидна, протизапальна, протипухлинна тощо (Moscovici, 2015; Yildiz, & Karatas, 2018; Saadat, Khosroushahi, & Gargari, 2019; Chaisuwanta *ін.*, 2020), завдяки яким вони знаходять застосування в різноманітних галузях промисловості — від харчової до нафтопереробної (Donot, Fontana, Baccou, & Schott-Galindo, 2012; Barcelos, Vespermann, Pelissari, & Molina, 2020).

Незважаючи на це, впродовж десятиліть в основному продовжують використовуватися одні й ті самі комерційно успішні біополімери (Freitas, Alves, & Reis, 2011; Barcelos, Vespermann, Pelissari, & Molina, 2020). Так, обсяги виробництва лише одного найбільш відомого ЕПС ксантану становлять понад 6% від світового ринку мікробних полісахаридів (Barcelos, Vespermann, Pelissari, & Molina, 2020). Решту між собою поділяють декстрин (Díaz-Montes, 2021), гелан (Fialho та *ін.*, 2008), альгінат (Ahmad Raus, Wan Nawawi, & Nasaruddin, 2021), леван (Srikanth та *ін.*, 2015), пулулан (Cheng, Demirci, & Catchmark, 2011), сукциноглюкан (Jeong, Kim, Hu, & Jung, 2022).

У той же час більшість нових мікробних ЕПС, окрім (Martins, Vieira, Gaspar, & Santos, 2014), продовжують перебувати на початкових стадіях фундаментальних досліджень і становлять виключно науковий інтерес (Zayed та *ін.*, 2021). Навіть наявність унікальних практично цінних властивостей (Roca, Alves, Freitas, & Reis, 2015; Saadat, Khosroushahi, & Gargari, 2019; Mohd Nadzir та *ін.*, 2021) не гарантує їхнього успішного промислового впровадження (Rana, & Upadhyay, 2020; Fukuda, & Kono, 2021). Основним лімітуючим фактором при цьому є висока собівартість цільового продукту, яка в біотехнологічному виробництві продуктів мікробного синтезу головним чином визначається кінцевою концентрацією полімеру, а також вартістю та ефективністю споживання джерела вуглецю (Freitas, Alves, & Reis, 2011; Rahman, Venkatachalam, & Karuppiiah, 2020).

Оптимізація біотехнологічних процесів є ефективним інструментом для зниження собівартості мікробних екзополісахаридів та підвищення їхнього виходу в процесі виробництва в промисловому масштабі, що загалом призводить до підвищення конкурентоспроможності на світовому ринку цих практично цінних полімерів (Rana, & Upadhyay, 2020). У контексті промислового виробництва навіть незначне підвищення показників синтезу цільового продукту або зниження його вартості може мати істотну фінансову вигоду, особливо в довгостроковій перспективі.

Відомо, що концентрація ЕПС значною мірою варіює залежно від умов культивування продуцента. При цьому власне процес культивування є складним і комплексним, а на його ефективність одночасно впливають ряд біологічних і фізико-хімічних факторів (Freitas, Alves, & Reis, 2011; Singh та *ін.*, 2017; Sengupta, Datta, & Biswas, 2018; Barcelos, Vespermann, Pelissari, & Molina, 2020).

Умови культивування, за яких досягаються максимальні показники синтезу ЕПС, встановлюються індивідуально для кожного продуцента комбінацією фізико-хімічних факторів (природа і концентрація джерела вуглецю та азоту, співвідношення C/N, мінеральний склад поживного середовища, температура, pH, тривалість культивування, ефективність масообмінних процесів тощо) (Singh та *ін.*, 2017). Велика кількість факторів призводить до того, що оптимізація процесу не може обмежуватися варіюванням однією змінною або встановленням оптималь-

них значень виключно для одного фактора (Barcelos, Vespermann, Pelissari, & Molina, 2020).

Для вирішення цього завдання необхідне проведення ґрунтовних експериментальних досліджень, які за підходом до планування можна умовно поділити на однофакторні, під час яких проводиться вивчення впливу параметрів одного фактора варіювання, та багатофакторні, коли одночасно досліджується взаємодія декількох факторів та їхній вплив на процес культивування (Franceschini, & Macchietto, 2008; Mandenius, & Brundin, 2008; Kumar, Bhalla, & Rathore, 2014).

Мета статті: узагальнення сучасних даних літератури про використання різних методів, що використовуються для встановлення оптимальних умов біосинтезу мікробних екзополісахаридів.

Матеріали і методи. Матеріалами дослідження стали сучасні наукові публікації зарубіжних учених у провідних періодичних і спеціалізованих світових виданнях, що стосуються підвищення ефективності технологій мікробних екзополісахаридів на основі одно- і багатофакторних експериментів для комплексної оптимізації умов процесу біосинтезу цільового продукту.

Викладення основних результатів дослідження. *Поетапна оптимізація біосинтезу полісахаридів з використанням однофакторних досліджень.* Проведення експериментів, в яких одночасно здійснюється варіювання лише однією змінною є найпростішим способом встановлення умов культивування, максимально наближених до оптимальних. Зазвичай, у таких дослідженнях проводиться послідовне визначення природи та концентрації джерела вуглецю й азоту, рН, температури та оптимальної тривалості культивування.

Так, Elova зі співавт. (Elova, Kutliyeva, Zakiryaeva, & Bektukhamedova, 2021) встановили, що оптимальним для синтезу ЕПС молочнокислими бактеріями *Lactobacillus plantarum* Eb-2 є проведення культивування при рН 5,5 та температурі 37 °С у середовищі з сахарозою (2%) та пептоном (1%) упродовж 48 годин. За таких умов культивування концентрація полісахариду була у 3,6 раза вищою за показники на базовому середовищі. Зазначимо, що при цьому для вирощування продуцента використовували середовище, приготоване на молочній сироватці, яке за рахунок наявності катіонів Mn^{2+} сприяє додатковому підвищенню біосинтетичної активності молочнокислих бактерій.

Схожі результати було отримано при дослідженні впливу складу поживного середовища (природи та концентрації джерела вуглецю та азоту), рН та температури на синтез полісахариду штамом *Bacillus* sp. ZBP4 (Ergene, & Avci, 2018). У результаті проведення однофакторних досліджень встановлено оптимальні значення досліджуваних факторів, при яких концентрацію ЕПС було підвищено у 7,5 раза порівняно з показниками до оптимізації.

У наведених вище працях (Ergene, & Avci, 2018; Elova, Kutliyeva, Zakiryaeva, & Bektukhamedova, 2021), незважаючи на істотне підвищення показників синтезу цільового продукту, концентрація отриманого полісахариду була незначною і становила ≈ 1 г/л. Від цих досліджень вигідно вирізняються дослідження (Hereher та ін., 2018; El-Ghonemy, 2021), в яких кількість синтезованих ЕПС досягала 8—26 г/л.

Hereher зі співавт. (Hereher та ін., 2018) проводили скринінг виділених з різних зразків ґрунту перспективних продуцентів мікробних полісахаридів. Встано-

влено, що серед 16 ізолятів бактерії *Micrococcus roseus* накопичували найбільшу кількість ЕПС (1,8 г/л). Під час подальшої оптимізації складу поживного середовища та умов культивування (рН, температура та тривалість процесу) концентрацію цільового продукту вдалося додатково підвищити до 8 г/л. У результаті подібного скринінгу зі зразків ґрунту було виділено штам *Aspergillus* sp. DHE6, який після оптимізації умов культивування впродовж 240 год вирощування на середовищі з глюкозою (4%) накопичував 26,1 г/л, що було у 3,6 раза вищим за вихідні показники на базовому середовищі (El-Ghonemy, 2021).

У праці (Petrova та ін., 2021) продемонстровано можливість інтенсифікації синтезу полісахаридів штамом *Bacillus licheniformis* 24 завдяки реалізації культивування з підживленням на оптимізованих середовищах з глюкозою або фруктозою у 4,9 та 3,3 раза відповідно. Показано, що оптимальний режим внесення субстратів залежав від використовуваного джерела вуглецю. Так, при рості на глюкозі одноразове внесення субстрату на 40 год вирощування приводило до підвищення кількості синтезованого полісахариду на 30%. У той же час при внесенні трьох додаткових порцій фруктози на 28, 36, 54 год культивування при рості штаму 24 в субстраті супроводжувалося підвищенням показників синтезу ЕПС лише на 12%.

Незважаючи на простоту планування та проведення однофакторних досліджень, вони мають ряд суттєвих недоліків, зокрема потребують значних трудовитрат і додаткових економічних витрат внаслідок необхідності проведення великої кількості експериментальних досліджень для належного оцінювання впливу кожного фактора та визначення його оптимальних значень.

Зважаючи на зазначене, ефективнішими є багатофакторні дослідження, які дають змогу не тільки одночасно вивчати вплив більшої кількості факторів при проведенні меншої кількості практичних робіт, а й враховують їх комбіновану взаємодію під час впливу на процес культивування (Baş, & Boyacı, 2007; Steinberg, & Bursztyn, 2010; Ibrahim, & Elkhidir, 2011).

Використання багатофакторних досліджень для комплексної оптимізації умов культивування. Для ефективної оптимізації умов культивування з використанням багатофакторних досліджень спершу доцільним є визначення найбільш критичних факторів, які потребують більш детального дослідження. Ефективним інструментом для вирішення цього завдання є використання методу математичного планування експериментів за планом (дизайном) Плакета-Бурмана, який дає змогу обчислити рівень впливу на процес великої кількості змінних при проведенні меншої кількості експериментів (Bhat, Vaid, Habib, & Bajaj, 2020). Зазначимо, що хоча дизайн Плакета-Бермана є зручним інструментом на початковому етапі оптимізації, проте він не враховує взаємодії, які можуть відбуватися між різними досліджуваними факторами (Oleksy-Sobczak, & Klewicka, 2020).

Зважаючи на це, для подальшого комбінованого аналізу факторів, які спричиняють найбільший вплив на процес, зазвичай, використовують інші більш комплексні математичні моделі, зокрема, метод Бокса-Вілсона (метод поверхні відгук) (Baş, & Boyacı, 2007; Steinberg, & Bursztyn, 2010; Ibrahim, & Elkhidir, 2011), метод Тагучі (Rao, Kumar, Prakasham, & Hobbs, 2008; Bhati, Baghel, & Singhal, 2021) тощо. При цьому для планування експериментів залежно від поставлених завдань, зазвичай, використовують центральний композиційний план або дизайн

Бокса-Бенкена (Ferreira та ін., 2007). Так, наприклад, план Бокса-Бенкена більш ефективний, ніж центральний композиційний дизайн при дослідженні впливу трьох факторів на вибрані відгуки. Ще одна перевага дизайну Бокса-Бенкена полягає в тому, що він не містить комбінацій, для яких усі фактори одночасно перебувають на найвищому або найнижчому рівні (Ferreira та ін., 2007). Таким чином, при плануванні досліджень можна уникнути проведення експериментів з використанням «крайніх» значень параметрів, за яких з високою ймовірністю будуть отримані незадовільні результати.

Незалежно від використаного для проведення досліджень підходу, першочерговим при проведенні оптимізації умов культивування є встановлення оптимального вмісту компонентів поживного середовища (Barcelos, Vespermann, Pelissari, & Molina, 2020). Зазвичай, при цьому основними факторами варіювання є природа та концентрація джерела вуглецю та азоту, а також вміст мікро- та макроелементів, які можуть впливати на синтез ЕПС.

Зазначимо, що визначення оптимального складу поживного середовища у таких дослідженнях проводять з використанням однофакторних експериментів, з подальшим уточненням їхнього оптимального вмісту в багатфакторних експериментах.

Так, у праці (Vinothini, Latha, Arulmozhi, & Dhanasekaran, 2019) встановлено, що оптимальним джерелом вуглецю і азоту для *Streptomyces griseorubens* GD5 є галактоза та дріжджовий екстракт відповідно. За їх наявності у складі середовища концентрація ЕПС становила 4,8—5,2 г/л. У результаті подальшого встановлення оптимальної концентрації та співвідношення джерела вуглецю та азоту, а також уточнення вмісту мінеральних солей кількість синтезованого полісахариду було підвищено майже вдвічі (до 9,5 г/л).

При використанні аналогічного підходу для інтенсифікації синтезу ЕПС штамом *Klebsiella oxytoca* ICCF 419 після визначення оптимального співвідношення C/N (23,45) концентрацію цільового продукту було підвищено до 17,4—20,5 г/л (Tomulescu та ін., 2020).

Інші дослідники (Suryawanshi, Naik, & Eswari, 2019) продемонстрували здатність молочнокислих бактерій *Lactobacillus* sp. на середовищі з декстрозою синтезувати 60 г/л полісахариду. Зазначимо, що результати є дещо сумнівними, оскільки концентрація джерела вуглецю в середовищі культивування становила лише 1,5%, а прогнозований вихід ЕПС згідно з розробленою авторами моделлю на основі штучного інтелекту становив 30,17 г/л.

Dhagat зі співавт. (Dhagat, & Jujjavarapu, 2021) встановили, що найвищі показники одночасного синтезу полісахариду (17,6 г/л) та біоємультатора (6,1 г/л) штамом *Brevibacillus borstelensis* спостерігалися за наявності 2,2% глюкози, 1,4% глутамату натрію та 0,6% дріжджового екстракту в середовищі культивування. На основі отриманих результатів авторами з використанням штучного інтелекту було розроблено математичну модель, яку планується використати під час проведення часткової заміни компонентів поживного середовища на відходи агропромислового комплексу.

Проведення аналогічних досліджень описано у працях (Srinivas, Naga, & Padma, 2016; Moghannem, Farag, Shehab, & Azab, 2018; Rončević та ін., 2020). Так, Moghannem зі співавт. (Moghannem, & Farag, 2018) повідомили про синтез 7,9 г/л

ЕПС на середовищі з мелясою (12%). У праці (Srinivas, Naga, & Padma, 2016) досліджено можливість заміни сахарози та дріжджового екстракту на сік цукрової тростини та чорну чечевицю (урд) відповідно під час синтезу декстрану бактеріями *Weissella confusa*. У результаті проведення багатофакторних досліджень було не тільки встановлено можливість синтезу ЕПС на альтернативній сировині, а й досягнуто підвищення показників синтезу декстрану у 2,6 раза (до 33,5 г/л) порівняно з результатами, отриманими на базовому середовищі.

Інші дослідники (Gojgic-Cvijovic та ін., 2019) встановили, що для оптимального синтезу левану штамом *Bacillus licheniformis* NS032 на мелясі, необхідно спершу провести її комплексну обробку кислотою та активованим вугіллям. При цьому кількість синтезованого полісахариду (10,4 г/л) була у 4—5 разів нижчою, ніж за використання аналогічної концентрації сахарози (200 г/л). Під час подальшої оптимізації складу поживного середовища встановлено, що для досягнення максимальних показників синтезу левану (53,2 г/л) до обробленої меляси (12,5% за вуглеводами) необхідно додатково вносити сахарозу (7,5%) та фосфат (0,47%).

У той же час є повідомлення про синтез 80,1 г/л полісахариду штамом *Weissella confusa* XG-3 (Zhao та ін., 2020), якого було досягнуто після зниження вмісту сахарози (з 10% до 8%) та ацетату натрію (з 0,5% до 0,37%) в середовищі культивування та підвищення початкового рН культуральної рідини (з 5,5 до 5,8).

Під час оптимізації вмісту компонентів поживного середовища для синтезу ксантану штамом *Xanthomonas campestris* ATCC 13951 встановлено, що найвища концентрація полісахариду (12,95 г/л) спостерігалася за наявності у середовищі культивування 3,3% гліцеролу, 0,055% пептону та 0,073% NH_4NO_3 (Rončević та ін., 2020). У той же час зниження концентрації джерела вуглецю до 1,6%, а також органічного та мінерального джерела азотного живлення до 0,018% та 0,067% відповідно, дало змогу знизити залишкову концентрацію гліцеролу та загального азоту в культуральній рідині на 73,77 та 58,9% відповідно, що суттєво спрощує виділення та очищення цільового продукту. При цьому концентрація ЕПС знижувалася лише на 9,19%.

Зазначимо, що встановлення оптимальних умов культивування продуцента ЕПС передбачає не лише уточнення оптимального вмісту компонентів середовища культивування, а й визначення параметрів культивування, за яких забезпечуються найвищі показники синтезу цільового продукту. Так, у праці (Ermiş, Poşraz, Dertli, & Yılmaz, 2020) продемонстровано, що оптимізація параметрів культивування (температура, рН і тривалість процесу) під час росту молочнокислих бактерій *Lactobacillus brevis* E25 на стандартному середовищі MRS з додаванням 1% сахарози приводило до підвищення синтезу ЕПС до 35 г/л.

Для штаму *Lactobacillus plantarum* SP8 температура і тривалість культивування разом з вмістом глюкози та дріжджового екстракту, спричиняли найбільший вплив на синтез ЕПС (Zhang, Zhao, Liu, Yang, 2020). Додаткове дослідження комплексної взаємодії даних факторів за допомогою методу Бокса-Вілсона сприяло підвищенню кількості синтезованого полісахариду у 18,7 раза порівняно з культивуванням на стандартному середовищі MRS.

У процесі культивування *Lactobacillus rhamnosus* MTCC 5462 на середовищі з глюкозою (1%) рівень впливу рН на синтез полісахариду був на 8% вищим, ніж вплив концентрації джерела азоту (Bhati, Baghel, & Singhal, 2021). Загалом, за оп-

тимальних умов культивування концентрація ЕПС досягала 10,7 г/л. Для інших представників молочнокислих бактерій, *Lactobacillus acidophilus* LA5 та *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* BB12, при вирощуванні на молочній сироватці, критичним виявилася концентрація джерела азоту (дріжджового екстракту), температура й тривалість процесу (Amirі та ін., 2019). Проте навіть за оптимальних умов культивування моно- чи змішаної культури продуцентів концентрація полісахаридів була дуже низькою і не перевищувала 0,19—0,35 г/л.

У праці (Bhat, Vaid, Habib, & Bajaj, 2020) досліджували комбінований вплив умов культивування (склад поживного середовища, тривалість вирощування, pH) на синтез ЕПС бактеріями *Enterococcus faecium* K1 та *Lactobacillus paracasei* M7. Незважаючи на те, що в результаті оптимізації показники синтезу полісахаридів штамів K1 та M7 було підвищено на 101,4% та 79,6% відповідно, концентрація цільового продукту залишалася незначною і не перевищувала 0,7 г/л.

Після встановлення оптимальних умов культивування дріжджів *Lipomyces starkeyi* VIT-MN03 на середовищі з сахарозою (2%) показники синтезу ЕПС підвищувались у 6 разів і досягали 4,86 г/л (Farinazzo, Fernandes, Mauro, & Garcia, 2021). Інші автори (Ragavan, & Das, 2019; Xiong, 2020) в результаті аналогічної оптимізації процесу встановили умови культивування *Glutamicibacter halophytocola* KLBMP 5180 та *Leuconostoc pseudomesenteroides* JF17, при яких забезпечується синтез 2,89 та 50,56 г/л полісахаридів відповідно.

У ході дослідження синтезу ЕПС молочнокислими бактеріями *Lactobacillus rhamnosus* LOCK 0943, LOCK 0935 та OM-1 встановлено, що незалежно від штаму оптимальним джерелом вуглецю виявилася суміш фруктози (20 г/л), глюкози (20 г/л) та сахарози (20 г/л) (Oleksy-Sobczak, & Klewicka, 2020). У подальших дослідженнях впливу параметрів культивування встановлено, що оптимальні значення температури (25 °C), pH (5,7) та кількості внесеного посівного матеріалу (5%) є однаковими для трьох продуцентів. У той же час штам LOCK 0943 під час культивування потребував додаткової аерації (Oleksy-Sobczak, Klewicka, & Piekarska-Radzik, 2020).

Нао зі співавт. (Нао та ін., 2019) у послідовних дослідженнях впливу складу поживного середовища та параметрів культивування морських бактерій *Pseudoalteromonas agarivorans* Нао 2018 встановили умови, що забезпечували максимальний синтез ЕПС (2,6—3,0 г/л). Оптимізоване середовище культивування містило значну кількість (3,5%) морської солі, що, очевидно, зумовлене природнім місцем існування продуцента. У той же час у (Sun та ін., 2020) в ході дослідження синтезу ЕПС арктичним ізолятом *Polaribacter* sp. SM1127 встановлено можливість заміни 3% морської солі в середовищі культивування на значно меншу кількість NaCl (0,4%) без зниження показників синтезу цільового продукту (6,27 г/л). Під час подальшої реалізації культивування з підживленням концентрацію ЕПС було додатково підвищено у 3 рази (до 19,25 г/л).

Про досягнення високих показників синтезу полісахариду в результаті оптимізації умов культивування також повідомляється в праці (Окого та ін., 2021). Так, продемонстровано, що додавання 5,1% сахарози та 14,7% сульфату амонію під час вирощування *Rhodotorula mucilaginosa* sp. GUMS16 на картопляно-декстрозному бульйоні (містить 2,4% декстрази) при pH 5 супроводжувалося синтезом 134,8 г/л полісахариду.

Узагальнені дані щодо факторів варіювання, досліджуваних під час встановлення оптимальних умов культивування, та показників синтезу полісахаридів за таких умов наведено в таблиці. Наведені дані свідчать про те, що оптимізація умов культивування продуцента забезпечує підвищення концентрації мікробних екзополісахаридів у середньому в 2—10 разів порівняно з такою до оптимізації.

Таблиця. Узагальнена характеристика факторів варіювання та показників синтезу мікробних полісахаридів за оптимальних умов культивування

Продуцент	Субстрат для біосинтезу ЕПС, %	Фактори оптимізації*	Значення параметра після оптимізації	Концентрація ЕПС, г/л		Література
				до оптимізації	після оптимізації	
<i>Aspergillus</i> sp. DHE6	Глюкоза, 4	Концентрація глюкози Концентрація дріжджового екстракту рН Температура Швидкість перемішування Тривалість культивування	4 % 0,15 % 6,0 30 °C 150 об/хв 240 год	7,2	26,1	El-Ghone-my, 2021
<i>Bacillus licheniformis</i> 24	Глюкоза, 20 (початкова концентрація)	Внесення глюкози на 40 год культивування	н/п	2,2—2,6	12,61	Petrova та ін., 2021
<i>Bacillus licheniformis</i> 24	Фруктоза, 20 (початкова концентрація)	Внесення фруктози на 28, 36, 54 год культивування	н/п	1,90—2,11	7,03	Petrova та ін., 2021
<i>Bacillus licheniformis</i> NS032	Бурякова м'яса, 12,5 (за вуглеводами) Сахароза, 7,5	Концентрація бурякової м'яси Концентрація сахарози Концентрація фосфату	12,5 (за вуглеводами) 7,5 0,47	10,4—10,9	53,2	Gojgic-Cvijovic та ін., 2019
<i>Bacillus</i> sp. ZBP4	Бурякова м'яса, 6 (за вуглеводами)	Концентрація м'яси Концентрація трипону рН Температура	6 % 0,5 % 5,0 45 °C	0,14	1,07	Ergene, & Avci, 2018
<i>Bacillus velezensis</i> KY471306	М'яса, 12 (за вуглеводами)	Концентрація м'яси Концентрація дріжджового екстракту Температура	12 % 0,6 % 30 °C	4,10	7,90	Moghannem, Farag, Shehab, & Azab, 2018

<i>Bifidobacterium animalis</i> subsp. lactis BB12	Лактоза, 4,64	Концентрація дріжджового екстракту Температура Тривалість культивування	2 % 38,2 °C 41,6 год	0,10	0,16	Amiri та ін., 2019
<i>Brevibacillus borstelensis</i>	Глюкоза, 2,2	Концентрація глюкози Концентрація глутамату Концентрація дріжджового екстракту Концентрація MgSO ₄	2,2 % 1,4 % 0,6 % 0,06 %	13,5 (ЕПС) 4,6 (біо-емульгатор)	17,6 (ЕПС) 6,1 (біо-емульгатор)	Dhagat, & Jujjavarapu, 2021
<i>Enterococcus faecium</i> K1	Лактоза, 1,07	Концентрація лактози Концентрація цитрату рН Тривалість культивування	1,07 % 0,25 % 5,4 94,05 год	0,36	0,72	Bhat, Vaid, Habib, & Bajaj, 2020
<i>Glutamicibacter halophytocola</i> KLBMP 5180	Мальтоза, 0,37	Концентрація мальтози Концентрація солодового екстракту Концентрація MnCl ₂ рН Температура Швидкість обертів	0,37 % 0,99 % 0,14 % 7,5 28 °C 200 об/хв	0,74	2,89	Xiong та ін., 2020
<i>Klebsiella oxytoca</i> ICCF 419	Лактоза, 3	Концентрація лактози Концентрація кукурудзяного екстракту Співвідношення C/N Концентрація KН ₂ РO ₄ Концентрація лимонної кислоти	3 % 1,34 % 23,45 0,1 % 0,1 %	15,0	17,4-20,5	Tomulescut та ін., 2020
<i>Lactobacillus acidophilus</i> LA5	Лактоза, 4,64	Концентрація дріжджового екстракту Температура Тривалість культивування	2 % 42 °C 12 год	0,13	0,35	Amiri та ін., 2019

<i>Lactobacillus acidophilus</i> LA5 та <i>Bifidobacterium animalis</i> subsp. <i>lactis</i> BB12	Лактоза, 4,64	Концентрація дріжджового екстракту Температура Тривалість культивування	2 % 42 °C 24 год	0,08	0,19	Amiri та ін., 2019
<i>Lactobacillus brevis</i> E25	Сахароза, 1 Глюкоза, 2	pH Температура Тривалість культивування	6,5 35 °C 18 год	10,0	35,0	Ermis, Poyraz, Dertli, & Yilmaz, 2020
<i>Lactobacillus paracasei</i> M7	Глюкоза, 1	Концентрація глюкози pH Тривалість культивування	1 % 7,6 48 год	0,38	0,68	Bhat, Vaid, Habib, & Bajaj, 2020
<i>Lactobacillus plantarum</i> Eb-2	Сахароза, 2	Концентрація сахарози Концентрація пептону pH Температура Тривалість культивування	2 % 1 % 5,5 37 °C 48 год	0,25	0,91	Elova, Kutliyeva, Zakiryaeva, & Bekmukhamedova, 2021
<i>Lactobacillus plantarum</i> SP8	Глюкоза, 2,2	Концентрація глюкози Концентрація дріжджового екстракту Температура Тривалість культивування	2,2 % 3 % 35,6 °C 22 год	0,09	0,28	Zhang, Zhao, Liu, & Yang, 2020
<i>Lactobacillus rhamnosus</i> LOCK 0935	Фруктоза, 2 Глюкоза, 2 Сахароза, 2	Концентрація фруктози Концентрація глюкози Концентрація сахарози Концентрація дріжджового екстракту Інокулят pH Температура Тривалість культивування	2 % 2 % 2 % 0,4 % 5 % 5,7 25 °C 24 год	0,1	0,9	Oleksy-Sobczak, & Klewicka, 2020; Oleksy-Sobczak, Klewicka, & Piekarska-Radzik, 2020
<i>Lactobacillus rhamnosus</i> LOCK 0943	Фруктоза, 2 Глюкоза, 2 Сахароза, 2	Концентрація фруктози Концентрація глюкози Концентрація сахарози Інокулят pH Температура Тривалість культивування Швидкість перемішування	2 % 2 % 2 % 5 % 5,7 25 °C 30 год 80 об/хв	0,09	1,14	Oleksy-Sobczak, Klewicka, 2020; Oleksy-Sobczak, Klewicka, & Piekarska-Radzik, 2020

<i>Lactobacillus rhamnosus</i> MTCC 5462	Глюкоза, 1	Концентрація глюкози Концентрація цитрату Кількість інокуляту pH Температура	1 % 0,3 % 3 % 7,0 37 °C	1,1—1,3	10,7	Bhati, Baghel, & Singhal, 2021
<i>Lactobacillus rhamnosus</i> OM-1	Фруктоза, 2 Глюкоза, 2 Сахароза, 2	Концентрація фруктози Концентрація глюкози Концентрація сахарози Кількість інокуляту pH Температура Тривалість культивування	2 % 2 % 2 % 5 % 5,7 25 °C 24 год	0,13	0,99	Oleksy-Sobczak, & Klewicka, 2020; Oleksy-Sobczak, Klewicka, & Piekarska-Radzik, 2020
<i>Lactobacillus</i> sp.	Глюкоза, 1,5	Концентрація глюкози Концентрація цитрату амонію Концентрація NaH ₂ PO ₄ Концентрація KH ₂ PO ₄ Концентрація MgSO ₄	1,5 % 0,15 % 0,3 % 0,25 % 0,025 %	10,0	60,0	Suryawan-shi, Naik, & Eswari, 2019
<i>Leuconostoc pseudomesenteroides</i> JF17	Сахароза, 18	Концентрація сахарози pH Температура	18 % 7,3 20 °C	9,8—10,6	50,56	Farinazzo, Fernandes, Mauro, & Garcia, 2021
<i>Lipomyces starkeyi</i> VIT-MN03	Сахароза, 2	Концентрація сахарози Концентрація NaCl pH Температура Тривалість культивування	2 % 3 % 4 25 °C 720 год	0,82	4,86	Ragavan, & Das, 2019
<i>Micrococcus roseus</i>	Сахароза, 4,5	Концентрація сахарози Концентрація (NH ₄) ₂ SO ₄ Температура Тривалість культивування	4,5 % 0,02 % 25 °C 96 год	1,8	8,0	Hereher та ін., 2018

<i>Polaribacter</i> sp. SM1127	Сахароза, 3,65 (початкова концентрація)	Внесення сахарози на 72, 96, 120 год культивування Концентрація пептону Концентрація дріжджового екстракту Концентрація NaCl Кількість інокуляту рН Температура Тривалість культивування	3,65 % 0,94 % 0,5 % 0,4 % 2 % 7,5 11,25 °C 144 год	2,11	19,25	Sun та ін., 2020
<i>Pseudoalteromonas agarivorans</i> Hao 2018	Глюкоза, 3	Концентрація глюкози Концентрація дріжджового екстракту Концентрація морської солі Кількість інокуляту Температура Швидкість перемішування Тривалість культивування	3 % 0,45 % 3,5 % 8,79 % 25 °C 171 об/хв 33,78 год	0,55—1,1	2,6—3,0	НАО та ін., 2019
<i>Rhodotorula mucilaginosa</i> sp. GUMS16	Сахароза, 5,1 Глюкоза, 2,4	Концентрація сахарози Концентрація (NH ₄) ₂ SO ₄ рН	5,1 % 14,7 % 5	68,4—81,3	134,8	Okoro та ін., 2021
<i>Streptomyces griseorubens</i> GD5	Галактоза, 0,75	Концентрація галактози Концентрація дріжджового екстракту Концентрація NaCl Концентрація суміші мікро- та макроелементів	0,75 % 0,25 % 0,2 % 10 мл/л	4,65	9,50	Vinothini, Latha, Arulmozhi, & Dhanasekaran, 2019

<i>Weissella confusa</i>	Сік цукрової тростини, 5	Концентрація соку цукрової тростини Концентрація чорної чечевиці (ураду) Концентрація $MgCl_2$ Концентрація $MgSO_4$ Концентрація K_2HPO_4	5 % 2,5 % 0,25 % 0,25 % 2,5 %	13,0	33,5	Srinivas, Naga & Padma, 2016
<i>Weissella confusa</i> XG-3	Сахароза, 8	Концентрація сахарози Концентрація ацетату рН	8 % 0,37 % 5,8	33,6	97,5	Zhao та ін., 2020
<i>Xanthomonas campestris</i> ATCC 13951	Гліцерол, 1,6	Концентрація гліцеролу Концентрація пептону Концентрація NH_4NO_3	1,6 % 0,02 % 0,07 %	7,98	11,25	Rončević та ін., 2020

Висновки

Проаналізовані літературні дані останніх років щодо шляхів підвищення ефективності технологій мікробних ЕПС засвідчили необхідність застосування комплексного підходу для вирішення цього завдання. Так, на першому етапі необхідним є встановлення оптимального складу поживного середовища (природа та концентрація джерела вуглецю та азоту, мінеральних солей та інших компонентів) та умов культивування (рН, температура, тривалість процесу тощо) продуцента. При цьому найбільш ефективним підходом є проведення багатофакторних досліджень з використанням комплексних математичних моделей (метод Бокса-Вільсона, метод Тагучі та ін.), що враховують взаємозв'язок різних досліджуваних факторів і дають змогу більш точно встановити оптимальні умови процесу біосинтезу цільового продукту.

У той же час однофакторні дослідження в комплексі із сучасними дизайнами проведення експериментальних досліджень (наприклад, Плакета-Бурмана) залишаються ефективним інструментом для первинного визначення найбільш критичних факторів, які спричиняють найбільший вплив на процес і потребують додаткової оптимізації.

Література

Ahmad Raus, R., Wan Nawawi, W. M. F., Nasaruddin, R. R. (2021). Alginate and alginate composites for biomedical applications. *Asian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 16(3), 280—306. doi: 10.1016/j.ajps.2020.10.001.

Amiri, S., Rezaei Mokarram, R., Sowti Khiabani, M., Rezazadeh Bari, M., Alizadeh Khaledabad, M. (2019). Exopolysaccharides production by *Lactobacillus acidophilus* LA5 and *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* BB12: optimization of fermentation variables and characterization of structure and bioactivities. *International Journal of Biological Macromolecules*, 123, 752—765. doi: 10.1016/

j.ijbiomac.2018.11.084.

Barcelos, M. C. S., Vespermann, K. A. C., Pelissari, F. M., Molina, G. (2020). Current status of biotechnological production and applications of microbial exopolysaccharides. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(9), 1475—1495. doi: 10.1080/10408398.2019.1575791.

Baş, D., Boyaci, I. H. (2007). Modeling and optimization I: Usability of response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, 78(3), 836—845. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2005.11.024.

Bhat, B., Vaid, S., Habib, B., Bajaj, B. K. (2020). Design of experiments for enhanced production of bioactive exopolysaccharides from indigenous probiotic lactic acid bacteria. *Indian Journal of Biochemistry and Biophysics*, 57(5), 539—551.

Bhati, A., Baghel, A. K., Singhal, B. (2021). Optimization of culture conditions for eps production in *Lactobacillus rhamnosus* MTCC 5462 through Taguchi design methodology. In: *Proceedings of International Conference on Scientific and Natural Computing*, 253—260. doi: 10.1007/978-981-16-1528-3_22.

Chaisuwan, W., Jantanasakulwong, K., Wangtueai, S., Phimolsiripol, Y., Chaiyaso, T., Techapun, C. et al. (2020). Microbial exopolysaccharides for immune enhancement: fermentation, modifications and bioactivities. *Food Bioscience*, 35:100564. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100564>.

Cheng, K. C., Demirci, A., Catchmark, J. M. (2011). Pullulan: biosynthesis, production, and applications. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 92, 29—44. doi: 10.1007/s00253-011-3477-y.

Dhagat, S., Jujavarapu, S. E. (2021). Simulated annealing and artificial neural network as optimization tools to enhance yields of bioemulsifier and exopolysaccharides by thermophilic *Brevibacillus borstelensis*. *The Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4):105499. doi: 10.1016/j.jece.2021.105499.

Díaz-Montes, E. (2021). Dextran: sources, structures, and properties. *Polysaccharides*, 2(3), 554—565. doi: 10.3390/polysaccharides2030033.

Donot, F., Fontana, A., Baccou, J. C., Schorr-Galindo, S. (2012). Microbial exopolysaccharides: Main examples of synthesis, excretion, genetics and extraction. *Carbohydrate Polymers*, 87(2), 951—962. doi: 10.1016/j.carbpol.2011.08.083.

El-Ghonemy, D. H. (2021). Antioxidant and antimicrobial activities of exopolysaccharides produced by a novel *Aspergillus* sp. DHE6 under optimized submerged fermentation conditions. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 36:102150. doi: 10.1016/j.bcab.2021.102150.

Elova, N., Kutliyeva, G., Zakiryaeva, S., Bekmukhamedova, N. (2021). Optimization of cultivation conditions for increasing the production of exopolysaccharides of the *Lactobacillus plantarum* Eb-2 strain. *Natural Volatiles and Essential Oils*, 8(5), 8689—8697.

Ergene, E., Avci, A. (2018). Effects of cultural conditions on exopolysaccharide production by *Bacillus* sp. ZBP4. *The Journal of Agricultural Science*, 24, 386—393. doi: 10.15832/ankutbd.456666.

Ermiş, E., Poyraz, E., Dertli, E., Yilmaz, M. T. (2020). Optimization of exopolysaccharide production of *Lactobacillus brevis* E25 using RSM and characterization. *Sakarya University Journal of Science*, 24(1), 151—160. doi: 10.16984/saufenbilder.545929.

Farinazzo, F. S., Fernandes, M. T. C., Mauro, C. S. I., Garcia, S. (2022). Statistical optimization of exopolysaccharide production by *Leuconostoc pseudomesenteroides* JF17 from native Atlantic Forest juçara fruit. *Preparative Biochemistry & Biotechnology*, Vol. 52. Iss. 3, 245—252. doi: 10.1080/10826068.2021.1931880.

Ferreira, S. L., Bruns, R. E., Ferreira, H. S., Matos, G. D., David, J. M., Brandão, G. C. et al. (2007). Box-Behnken design: an alternative for the optimization of analytical methods. *Analytica Chimica Acta*, 597(2), 179—186. doi: 10.1016/j.aca.2007.07.011.

Fialho, A. M., Moreira, L. M., Granja, A. T., Popescu, A. O., Hoffmann, K., Sá-Correia, I. (2008). Occurrence, production, and applications of gellan: current state and perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 79, 889—900. doi: 10.1007/s00253-008-1496-0.

Franceschini, G., Macchietto, S. (2008). Model-based design of experiments for parameter precision: state of the art. *Chemical Engineering Science*, 63(19), 4846—4872. doi: 10.1016/j.ces.2007.11.034.

Freitas, F., Alves, V. D., Reis, M. A. (2011). Advances in bacterial exopolysaccharides: from production to biotechnological applications. *Trends in Biotechnology*, 29(8), 388—398. doi: 10.1016/j.tibtech.2011.03.008.

Fukuda, K., Kono, H. (2021). Cost-benefit analysis and industrial potential of exopolysaccharides. In: Nadda A. K., K. V. S. Sharma S. (eds) *Microbial Exopolysaccharides as Novel and Significant Biomaterials*. Springer Series on Polymer and Composite Materials. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-75289-7_12.

Gojic-Cvijovic, G. D., Jakovljevic, D. M., Loncarevic, B. D., Todorovic, N. M., Pergal, M. V., Ciric, J. et al. (2019). Production of levan by *Bacillus licheniformis* NS032 in sugar beet molasses-based medium. *International Journal of Biological Macromolecule*, 121, 142—151. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.10.019.

Gu, Y., Zheng, J., Feng, J., Cao, M., Gao, W., Quan, Y. et al. (2017). Improvement of levan production in *Bacillus amyloliquefaciens* through metabolic optimization of regulatory elements. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 101(10), 4163—4174. doi: 10.1007/s00253-017-8171-2.

Gupta, J., Rathour, R., Dupont, C. L., Kaul, D., Thakur, I. S. (2021). Genomic insights into waste valorized extracellular polymeric substances (EPS) produced by *Bacillus* sp. ISTL8. *Environmental Research*, 192:110277. doi: 10.1016/j.envres.2020.110277.

Han, H. M., Kim, I. J., Yun, E. J., Lee, J. W., Cho, Y., Jin, Y. S. et al. (2021). Overproduction of exopolysaccharide colanic acid by *Escherichia coli* by strain engineering and media optimization. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 193(1), 111—127. doi: 10.1007/s12010-020-03409-4.

Hao, L., Liu, W., Liu, K., Shan, K., Wang, C., Xi, C. et al. (2019). Isolation, optimization of fermentation conditions, and characterization of an exopolysaccharide from *Pseudoalteromonas agarivorans* Hao 2018. *Marine Drugs*, 17(12):703. doi: 10.3390/md17120703.

Hereher, F., El Fallal, A., Abou-Dobara, M., Toson, E., Abdelaziz, M. M. (2018). Cultural optimization of a new exopolysaccharide producer "*Micrococcus roseus*". *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 7(4), 632—639. doi: 10.1016/j.bjbas.2018.07.007.

Ibrahim, H. M., Elkhidir, E. E. (2011). Response surface method as an efficient tool for medium optimisation. *Trends in Applied Sciences Research*, 6(2), 121—129. doi: 10.3923/tasr.2011.121.129.

Jeong, J. P., Kim, Y., Hu, Y., Jung, S. (2022). Bacterial succinoglycans: structure, physical properties, and applications. *Polymers (Basel)*, 14(2):276. doi: 10.3390/polym14020276.

Kumar, V., Bhalla, A., Rathore, A. S. (2014). Design of experiments applications in bioprocessing: concepts and approach. *Biotechnology Progress*, 30(1), 86—99. doi: 10.1002/btpr.1821.

Mandenius, C. F., Brundin, A. (2008). Bioprocess optimization using design-of-experiments methodology. *Biotechnology Progress*, 24(6), 1191—1203. doi: 10.1002/btpr.67. PMID: 19194932.

Martins, A., Vieira, H., Gaspar, H., Santos, S. (2014). Marketed marine natural products in the pharmaceutical and cosmeceutical industries: tips for success. *Marine Drugs*, 12(2), 1066—1101. doi: 10.3390/md12021066.

Moghannem, S. A. M., Farag, M. M. S., Shehab, A. M., Azab, M. S. (2018). Exopolysaccharide production from *Bacillus velezensis* KY471306 using statistical experimental design. *The Brazilian Journal of Microbiology*, 49(3), 452—462. doi: 10.1016/j.bjm.2017.05.012.

Mohd Nadzir, M., Nurhayati, R. W., Idris, F. N., Nguyen, M. H. (2021). Biomedical applications of bacterial exopolysaccharides: a review. *Polymers (Basel)*, 13(4):530. doi: 10.3390/polym13040530.

Moscovici, M. (2015). Present and future medical applications of microbial exopolysaccharides. *Frontiers in Microbiology*, 6:1012. doi: 10.3389/fmicb.2015.01012.

Okoro, O. V., Gholipour, A. R., Sedighi, F., Shavandi, A., Hamidi, M. (2021). Optimization of exopolysaccharide (EPS) production by *Rhodotorula mucilaginosa* sp. GUMS16. *Chemical Engineering*, 5(3):39. doi: 10.3390/chemengineering5030039.

Oleksy-Sobczak, M., Klewicka, E. (2020). Optimization of media composition to maximize the yield of exopolysaccharides production by *Lactobacillus rhamnosus* strains. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 12, 774—783. doi: 10.1007/s12602-019-09581-2.

Oleksy-Sobczak, M., Klewicka, E., Piekarska-Radzik, L. (2020). Exopolysaccharides production

by *Lactobacillus rhamnosus* strains — optimization of synthesis and extraction conditions. *LWT — Food Science and Technology*, 122:109055. doi: 10.1016/j.lwt.2020.109055.

Petrova, P., Arsov, A., Ivanov, I., Tsigoriyna, L., Petrov, K. (2021). New Exopolysaccharides produced by *Bacillus licheniformis* 24 display substrate-dependent content and antioxidant activity. *Microorganisms*, 9(10):2127. doi: 10.3390/microorganisms9102127.

Ragavan, M. L., Das, N. (2019). Optimization of exopolysaccharide production by probiotic yeast *Lipomyces starkeyi* VIT-MN03 using response surface methodology and its applications. *Annals of Microbiology*, 69, 515—530. doi: 10.1007/s13213-019-1440-9.

Rahman, S. S. A., Venkatachalam, P., Karuppiyah, S. (2020). Cost-effective production of dextran using *Saccharum officinarum* juice (SOJ) as a potential feedstock: downstream processing and characterization. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1—13. doi: 10.1007/s13399-020-00926-4.

Rana, S., Upadhyay, L. S. B. (2020). Microbial exopolysaccharides: Synthesis pathways, types and their commercial applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 157, 577—583. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2020.04.084.

Rao, R. S., Kumar, C. G., Prakasham, R. S., Hobbs, P. J. (2008). The Taguchi methodology as a statistical tool for biotechnological applications: a critical appraisal. *Biotechnology Journal*, 3(4), 510—523. doi: 10.1002/biot.200700201.

Roca, C., Alves, V. D., Freitas, F., Reis, M. A. (2015). Exopolysaccharides enriched in rare sugars: bacterial sources, production, and applications. *Frontiers in Microbiology*, 6:288. doi: 10.3389/fmicb.2015.00288.

Rončević, Z., Bajić, B., Vlajkov, V., Dodić, S., Grahovac, J., Jokić, A. et al. (2020). Optimisation of xanthan production on glycerol-based medium using response surface methodology. *The Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 37(4), 617—627. doi: 10.1007/s43153-020-00062-6.

Rühmann, B., Schmid, J., Sieber, V. (2015). High throughput exopolysaccharide screening platform: from strain cultivation to monosaccharide composition and carbohydrate fingerprinting in one day. *Carbohydrate Polymers*, 122, 212—220. doi: 10.1016/j.carbpol.2014.12.021.

Saadat, Y. R., Khosroushahi, A. Y., Gargari, B. P. (2019). A comprehensive review of anticancer, immunomodulatory and health beneficial effects of the lactic acid bacteria exopolysaccharides. *Carbohydrate Polymers*, 217, 79—89. doi: 10.1016/j.carbpol.2019.04.025.

Sengupta, D., Datta, S., Biswas, D. (2018). Towards a better production of bacterial exopolysaccharides by controlling genetic as well as physico-chemical parameters. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102(4), 1587—1598. doi: 10.1007/s00253-018-8745-7.

Singh, V., Haque, S., Niwas, R., Srivastava, A., Pasupuleti, M., Tripathi, C. K. (2017). Strategies for fermentation medium optimization: an in-depth review. *Frontiers in Microbiology*, 7:2087. doi: 10.3389/fmicb.2016.02087.

Srikanth, R., Reddy, C. H., Siddartha, G., Ramaiah, M. J., Uppuluri, K. B. (2015). Review on production, characterization and applications of microbial levan. *Carbohydrate Polymers*, 120, 102—114. doi: 10.1016/j.carbpol.2014.12.003.

Srinivas, B., Naga Padma, P. (2016). Statistical optimization of medium components by response surface methodology for dextran production by *Weissella confusa*. *International Journal of Sciences and Applied Research*, 3(2), pp. 47—57.

Steinberg, D. M., Bursztyn, D. (2010). Response surface methodology in biotechnology. *Quality Engineering*, 22, 78—87. doi: 10.1080/08982110903510388.

Sun, M. L., Zhao, F., Zhang, X. K., Zhang, X. Y., Zhang, Y. Z., Song, X. Y. et al. (2020). Improvement of the production of an Arctic bacterial exopolysaccharide with protective effect on human skin cells against UV-induced oxidative stress. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 104(11), 4863—4875. doi: 10.1007/s00253-020-10524-z.

Suryawanshi, N., Naik, S., Eswari, J. S. (2019). Extraction and optimization of exopolysaccharide from *Lactobacillus* sp. using response surface methodology and artificial neural networks. *Preparative Biochemistry & Biotechnology*, 49(10), 987—996. doi: 10.1080/10826068.2019.1645695.

Tomulescu, C., Moscovici, M., Stoica, R. M., Albu, G. B., Sevcenco, C., Vamanu, A. (2020). Inves-

tigation of culture conditions by Response Surface Methodology and kinetic modeling for exopolysaccharide production by *Klebsiella oxytoca* ICCF 419 strain, using lactose as substrate. *Romanian Biotechnological Letters*, 25(6), 2033—2044. doi: 10.25083/rbl/25.6/2033.2044.

Vinothini, G., Latha, S., Arulmozhi, M., Dhanasekaran, D. (2019). Statistical optimization, physiochemical and bio-functional attributes of a novel exopolysaccharide from probiotic *Streptomyces griseorubens* GD5. *International Journal of Biological Macromolecules*, 134, 575—587. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.05.011.

Xiong, Y. W., Ju, X. Y., Li, X. W., Gong, Y., Xu, M. J., Zhang, C. M. et al. (2020). Fermentation conditions optimization, purification, and antioxidant activity of exopolysaccharides obtained from the plant growth-promoting endophytic actinobacterium *Glutamicibacter halophytocola* KLBMP 5180. *International Journal of Biological Macromolecules*, 153, 1176—1185. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.10.247.

Yildiz, H., Karatas, N. (2018). Microbial exopolysaccharides: resources and bioactive properties. *Process Biochemistry*, 72, 41—46. doi: 10.1016/j.procbio.2018.06.009.

Zayed, A., Mansour, M. K., Sedeek, M. S., Habib, M. H., Ulber, R., Farag, M. A. (2021). Rediscovering bacterial exopolysaccharides of terrestrial and marine origins: novel insights on their distribution, biosynthesis, biotechnological production, and future perspectives. *Critical Reviews in Biotechnology*, 1—21. doi: 10.1080/07388551.2021.1942779.

Zhang, L., Zhao, B., Liu, C. J., Yang, E. (2020). Optimization of biosynthesis conditions for the production of exopolysaccharides by *Lactobacillus plantarum* SP8 and the exopolysaccharides antioxidant activity test. *Indian Journal of Microbiology*, 60(3), 334—345. doi: 10.1007/s12088-020-00865-8.

Zhao, D., Liu, L., Jiang, J., Guo, S., Pin, W., Ge, J. (2020). The response surface optimization of exopolysaccharide produced by *Weissella confusa* XG-3 and its rheological property. *Preparative Biochemistry & Biotechnology*, 50(10), 1014—1022. doi: 10.1080/10826068.2020.1780609.

BIOTECHNOLOGICAL FEATURES OF RECEIVING ORGANIC COMPOUNDS FOR PRODUCTION OF PLASTICIZERS

O. Skrotska, K. Tsvietkov

National University of Food Technologies

Yu. Penchuk

Taras Shevchenko National University of Kyiv

Key words:

Plasticizers

Organic acids

Phenols

Alcohols

Microbial synthesis

Article history:

Received 25.01.2023

Received in revised form

06.02.2023

Accepted 17.02.2023

Corresponding author:

O. Skrotska

E-mail:

skrotska@ukr.net

ABSTRACT

Plasticizers are used in the production of various polymers. They give these materials flexibility, strength and elasticity. Different groups of compounds are used for obtaining plasticizers in particular acids, phenols and alcohols. They can be obtained both by chemical synthesis and by using microorganisms. Information in this article is focused on the microbial synthesis of various compounds that are the basis for the production of plasticizers.

Organic acids such as oleic, linolenic, linoleic, adipic, etc. are used in the production of plasticizers. Among the producers of these acids are bacteria of the genera *Bifidobacterium*, *Lactobacillus*; yeast *Rhodospiridium*, *Saccharomyces*; fungi *Thamnidium*, *Mucor*; microalgae *Botryococcus* etc. The second group of compounds used in the production of plasticizers consists of phenols and their derivatives. Phenols can be obtained by cultivating recombinant strains of bacteria, in particular *Escherichia coli*. Metacresol is phenol derivative which is used for the production of plasticizers. It can be obtained using genetically modified cells of *Saccharomyces cerevisiae* and *Aspergillus nidulans*.

The main raw materials for the production of plasticizers are alcohols — hexanol, glycerol, butanol, isobutanol. Hexanol is synthesized by both natural and recombinant bacteria and yeast. 2.5% of the total percentage of alcohol in production of plasticizers is hexanol. Glycerol is used less often in the production of plasticizers. The share of the use of this alcohol is 1.8%. The percentage of isobutanol in the production of plasticizers is 4.5% of the total amount of alcohols used for this purpose. This alcohol is obtained by cultivating recombinant bacteria *Escherichia coli*, *Corynebacterium glutamicum*, *Zymomonas mobilis* and yeast *Saccharomyces cerevisiae*. The largest percentage of the use of alcohols in the creation of plasticizers is butanol — 36%. Bacteria of the genus *Clostridium* are distinguished among the natural producers of butanol. Recombinant strains of bacteria capable for synthesizing butanol have also been constructed — *Escherichia coli*, *Clostridium tyrobutyricum*, *Clostridium cellulovorans* and the yeast *Saccharomyces cerevisiae*.

DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-1-4

БІОТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ОТРИМАННЯ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ У ВИРОБНИЦТВІ ПЛАСТИФІКАТОРІВ

О. І. Скроцька, К. О. Цвєтков

Національний університет харчових технологій

Ю. М. Пенчук

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Пластифікатори використовують при виробництві різних полімерів. Саме вони надають цим матеріалам гнучкості, міцності й еластичності. Для отримання пластифікаторів використовують різні групи сполук, зокрема кислоти, феноли і спирти. Їх можна отримувати як хімічним синтезом, так і з використанням мікроорганізмів. У статті приділена увага саме мікробному синтезу різних сполук, які є основою при виробництві пластифікаторів.

При виробництві пластифікаторів використовують такі органічні кислоти: олеїнову, ліноленову, лінолеву, адипінову тощо. Серед продуцентів цих кислот виділяють бактерії родів *Bifidobacterium*, *Lactobacillus*, дріжджі *Rhodospiridium*, *Saccharomyces*, гриби *Thamnidium*, *Mucor*, а також мікродорослі *Botryococcus* тощо.

Другу групу сполук, що використовують при виробництві пластифікаторів, складають феноли та їх похідні. Феноли можна отримати при культивуванні рекомбінантних штамів бактерій, зокрема *Escherichia coli*. Серед похідних фенолів для виробництва пластифікаторів використовують метакрезол. Його можна отримати з використанням генно-модифікованих клітин *Saccharomyces cerevisiae* та *Aspergillus nidulans*.

Основною сировиною для виробництва пластифікаторів є спирти — гексанол, гліцерол, бутанол, ізобутанол. Гексанол синтезують як природні, так і рекомбінантні бактерії й дріжджі. Частка використання гексанолу у виробництві пластифікаторів становить 2,5% від загального відсотка спиртів. Гліцерол менше використовують у виробництві пластифікаторів. Частка використання цього спирту — 1,8%. Використання ізобутанолу у виробництві пластифікаторів складає 4,5% від загальної кількості спиртів, що використовуються для цього. Цей спирт отримують при культивуванні рекомбінантних бактерій *Escherichia coli*, *Corynebacterium glutamicum*, *Zytoponas mobilis* дріжджів *Saccharomyces cerevisiae*. Найбільший відсоток використання спиртів у створенні пластифікаторів займає бутанол — 36%. Серед природних продуцентів бутанолу виділяють бактерії роду *Clostridium*. Також сконструйовані рекомбінантні штами бактерій, які здатні синтезувати бутанол — *Escherichia coli*, *Clostridium tyrobutyricum*, *Clostridium cellulovorans*, а також дріжджі *Saccharomyces cerevisiae*.

Ключові слова: пластифікатори, органічні кислоти, феноли, спирти, мікробний синтез.

Постановка проблеми. Пластифікатори займають свою вагому частину у виробничій галузі, що зумовлене їх властивостями і потребою на ринку пластмас,

до складу яких входять пластифікатори, які слугують стабілізуючим фактором усіх пластмас, надаючи цим матеріалам гнучкості, міцності й еластичності. Пластифікатори знижують напругу деформації, твердість, щільність, в'язкість та електростатичний заряд полімеру, при цьому вони одночасно підвищують гнучкість полімерного ланцюга та опір руйнуванню. Упродовж останніх 10—15 років світове виробництво пластифікаторів складало близько 5 млн т на рік. Самі ж пластифікатори використовують при виробництві близько 60 полімерів і більш ніж 30 груп продуктів (Białęcka-Florjańczyk, & Florjańczyk, 2007).

Оскільки пластмасова промисловість постійно розвивається, попит на пластифікатори також зростає. Сучасний ринок пропонує безліч варіантів пластифікаторів з різними характеристиками, які можна вибрати для конкретних застосувань, щоб задовольнити критичні вимоги до матеріалів.

Для отримання пластифікаторів використовують різні групи сполук, зокрема кислоти, феноли і спирти, які можна отримувати як хімічним синтезом, так і мікробним шляхом з використанням про- та еукаріот. При цьому сполуки, які отримують за допомогою мікробного синтезу, є екологічними, а під час культивування мікроорганізмів у складі поживних середовищ часто використовують відходи різних виробництв, що дає змогу отримувати цінні продукти, використовуючи мінімум коштів. Тому **метою цього огляду** є аналіз сучасної наукової літератури щодо продуцентів органічних кислот, фенолів та їх похідних, а також спиртів, які використовуються як основа при виробництві пластифікаторів.

Матеріали і методи. Матеріалами дослідження стали сучасні наукові публікації зарубіжних і вітчизняних вчених у міжнародних та українських виданнях. Проаналізовані публікації стосуються використання різних груп органічних сполук, які можна отримати за допомогою мікроорганізмів для виробництва пластифікаторів. Пошук публікацій здійснювали з використанням світових наукометричних баз даних PubMed та Google Scholar.

Викладення основних результатів дослідження. Для виробництва складноєфірних пластифікаторів використовують різні продукти мікробного синтезу (табл. 1).

Таблиця 1. Речовини мікробного походження для виробництва пластифікаторів

Органічна сполука	Органічні речовини	Група пластифікаторів
Кислоти	Олеїнова кислота	Складноєфірні пластифікатори на основі жирних кислот
	Ліноленова кислота	
	Лінолева кислота	
	Адипінова кислота	Пластифікатори на основі аліфатичних кислот
	Себацінова кислота	
Феноли та їх похідні	Фенол	Фосфоровмісні пластифікатори
	Метакрезол	
Спирти	Гексанол	Складноєфірні пластифікатори на основі спиртів
	Гліцерол	
	Ізобутанол	
	Бутанол	

Розглянемо детальніше окремі групи органічних сполук, що використовуються у виробництві пластифікаторів, а також групи мікроорганізмів, які здатні синтезувати дані сполуки.

Органічні кислоти як основа для виробництва пластифікаторів. Органічні кислоти можна отримувати з використанням мікроорганізмів, які, крім основного цільового продукту, можуть синтезувати спектр інших речовин, що використовуються не тільки у виробництві пластифікаторів, а й в інших галузях промисловості. Перелік продуцентів, що здатні синтезувати органічні кислоти, наведено в табл. 2.

Таблиця 2. **Продуценти органічних кислот**

Продуцент	Тип продуцента	Концентрація кислоти, г/л	Особливості біосинтезу	Джерело
<i>Олеїнова кислота</i>				
<i>Botryococcus braunii</i> UTEX 572	Мікрободорості	0,193	Температура 25 °C, pH 6,7, швидкість перемішування — 100 об/хв, безперевне освітлення	Choi, Kim, Ahn, & Oh, 2011
<i>Botryococcus</i> sp.	Мікрободорості	0,00503	Температура 25 °C, pH 7,0 інтенсивність світла 5200 люкс	Marwani, & Kurniawan, 2019
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> YHU3046-4A	Генно-модифікований штам дріжджів	0,424	Температура 30 °C, pH 6,0, перемішування 40 об/хв	Yazawa, Kamisaka, Kimura, Yamaoka, & Uemura, 2011
<i>Ліноленова кислота</i>				
<i>Thamnidium elegans</i> CCF-1465	Природний штам грибів	1,014	Температура 28 °C, pH 6,0, перемішування 180 об/хв	Zikou, Chatzifragkou, Koutinas, & Papanikolaou, 2013
<i>Mucor circinelloides</i> PRR3	Природний штам грибів	0,48	Температура 28 °C, pH 6,5, перемішування 150 об/хв	Shah, Mohamed, Zhang, & Song, 2021
<i>Rhodospiridium toruloides</i> DSM 4444	Природний штам дріжджів	0,633	Температура 28 °C, pH 5,5, перемішування 180 об/хв	Diamantopoulou та ін., 2020
<i>Лінолева кислота</i>				
<i>Bifidobacterium breve</i> 2258	Природний штам бактерій	0,42	Температура 37 °C, pH 6,7, анаеробні умови культивування	Coakley та ін., 2003
<i>Lactobacillus plantarum</i> L3C1E8	Природний штам бактерій	0,01	Температура 30 °C, pH 6,0, анаеробні умови культивування	Ribeiro, Stanton, Yang, Ross, & Silva, 2018

<i>Lactobacillus acidophilus</i> AKU 1137	Природний штам бактерій	4,9	Температура 28 °C, pH 6,5, швидкість перемішування 120 об/хв	Ogawa, Matsumura, Kishino, Omura, & Shimizu, 2001
---	-------------------------	-----	--	---

Як продуценти олеїнової кислоти були досліджені мікрободорості роду *Botryococcus* (Choi, Kim, Ahn, & Oh, 2011; Marwani, & Kurniawan, 2019). Дослідження стосувалося впливу дефіциту джерела азоту в поживному середовищі на ріст та розвиток *Botryococcus braunii* UTEX 572, а також на здатність цих клітин продукувати певний спектр ліпідів у стресових ситуаціях. Автори дослідження встановили ряд концентрацій джерела азоту, при яких спостерігалась найнижча та найвища концентрація внутрішньоклітинних ліпідів, а точніше, жирних кислот, з яких синтезуються ліпіди: найвища концентрація внутрішньоклітинних ліпідів досягається при використанні поживного середовища, в складі якого міститься 0,04 мМ нітрату; найнижча концентрація ліпідів спостерігається при використанні нітрату у кількості 3,66 мМ. При цьому 86% усіх жирних кислот в культуральній рідині складає олеїнова кислота, а експресія гену стеароїл-АСР-десатурази була в 2,6 рази вищою в умовах лімітування джерела азотного живлення, ніж при використанні його достатньої кількості (Choi, Kim, Ahn, & Oh, 2011).

Була досліджена здатність мікрободоростей *Botryococcus* sp. синтезувати жирні кислоти на середовищах, до складу яких входила різна кількість джерела азоту: 5, 28, 55 та 350 мг/л, що призвело до отримання олеїнової кислоти у кількості 2,29%, 24,52%, 26,99% та 8,81% від загальної кількості жирних кислот відповідно. Основною метою дослідження було визначення такої концентрації джерела азоту, при якій буде синтезуватися найбільша кількість жирних кислот, що використовується *Botryococcus* sp. для біоперетворення на біодизель (Marwani, & Kurniawan, 2019).

Водночас науковці з Науково-дослідного інституту біопродукції у Японії для отримання олеїнової кислоти використовували генно-модифікований штам дріжджів *S. Cerevisiae* YHU3046-4A. Для отримання даної кислоти дослідниками було проведено ряд тестів, що включали в себе вирощування дріжджів на поживних середовищах, які містили етанол у концентраціях від 0 до 8%, та визначення такої кількості етанолу, при якій досягається найбільший вихід олеїнової кислоти. В результаті дослідження було визначено, що при використанні 8% спирту в поживному середовищі кількість синтезованої олеїнової кислоти є найбільшою (Yazawa, Kamisaka, Kimura, Yamaoka, & Uemura, 2011).

Для біосинтезу ліноленової кислоти пропонується використовувати дикі штамми грибів *T. Elegans* CCF-1465 та *M. circinelloides* PRR3. Досліджено біотинтетичну здатність *T. Elegans* CCF-1465 синтезувати важливу для медицини та харчової галузі ліноленову кислоту на середовищах, склад яких змінювався для максимізації біосинтезу цієї жирної кислоти. Основним компонентом субстрату, що піддавався зміні, було джерело вуглецевого живлення, що складалося з глюкози і ксилози. Комбінуючи ці речовини та використовуючи тільки одну із них, було визначено, що найвища концентрація ліноленової кислоти 1,014 г/л досягається

на ранній стаціонарній фазі росту при використанні глюкози як єдиного джерела вуглецю, або в суміші з ксилозою, де частка кожного компоненту становить приблизно 50%, що призводить до біосинтезу ліноленової кислоти у концентрації 0,936 г/л. Якщо ж використовувати як єдине джерело вуглецю ксилозу, то концентрація ліноленової кислоти не перевищує 0,339 г/л, що пов'язано з особливостями метаболітичних шляхів біосинтезу кислоти в штаму CCF-1465 (Zikou, Chatzifragkou, Koutinas, & Papanikolaou, 2013).

Вчені з Шаньдунського технологічного університету (Китай) досліджували здатність різних груп грибів синтезувати внутрішньоклітинні ліпіди. Було відібрано 51 зразок з навколишнього середовища, з яких лише 13 мали високий показник біосинтезу ліпідів. Серед цих продуцентів було вибрано штам міцеліальних грибів *M. circinelloides* PRR3, що синтезує найбільшу кількість ліноленової кислоти, решта штамів, хоч і характеризується більшою біосинтетичною здатністю відносно ліпідів, але частка ліноленової кислоти в цих ліпідах є меншою, ніж при використанні штаму PRR3 (Shah, Mohamed, Zhang, & Song, 2021).

Досліджено здатність дикого штаму дріжджів *R. toruloides* DSM 4444 синтезувати ліпіди (в тому числі і ліноленову кислоту) на неочищеному гліцерині в суміші з ксилозою та окремо один від одного, що дало певний спектр результатів: найвищу кількість ліноленової кислоти було синтезовано з використанням гліцерину як єдиного джерела вуглецю — 0,633 г/л; найнижчу концентрацію ліноленової кислоти — 0,055 г/л було отримано на середовищі, в склад якого входило 75% гліцерину та 25% ксилози (Diamantopoulou та ін., 2020).

У виробництві пластифікаторів також використовують лінолеву кислоту, яка синтезується за допомогою бактерій *B. breve* 2258, *L. plantarum* L3C1E8 та *L. Acidophilus* AKU 1137 і використовується переважно у кон'югованій формі. Серед досліджених бактеріальних продуцентів лінолевої кислоти саме клітини *B. Breve* 2258 перетворювали до 65% лінолевої кислоти в необхідну кон'юговану форму. Істотним недоліком цього методу біосинтезу є те, що сама культура не може синтезувати лінолеву кислоту і її необхідно вводити з поживним середовищем (Coakley та ін., 2003).

Також було досліджено здатність молочнокислих бактерій здійснювати біотрансформацію вільної форми лінолевої кислоти в її кон'юговану форму. Автори проаналізували два штами бактерій *L. plantarum*, що вирощувалися в однакових умовах і порівнювалися їхні властивості, зокрема гідрофобність клітинної поверхні, здатність до автоагрегації, вплив на ріст жовчних солей, панкреатину, низького значення рН і здатність синтезувати кон'юговану форму лінолевої кислоти. Найкращим продуцентом виявився штам L3C1E8, що має найвищий показник біосинтезу лінолевої кислоти 0,01 г/л (Ribeiro, Stanton, Yang, Ross, & Silva, 2018).

Крім того, японські вчені провели дослідження стосовно здатності бактерій роду *Lactobacillus* синтезувати кон'юговану форму лінолевої кислоти. Так, природний штам молочнокислих бактерій *L. Acidophilus* AKU 1137 здатний синтезувати цю кислоту в концентрації 4,9 г/л. Висока продуктивність цього штаму щодо кислоти пов'язана з умовами культивування, біосинтетичними шляхами самого штаму та складом поживного середовища. Так, було виявлено, що для біосинтезу лінолевої кислоти необхідне накопичення 10-гідрокси-цис-12-октадекаєнової кислоти та 10-гідрокси-транс-12-октадекаєнової кислоти. Виділена 10-гідрокси-

цис-12-октадекаєнова кислота була перетворена в кон'юговану форму лінолевої кислоти під час інкубації з промитими клітинами штаму АКУ 1137, що свідчить про те, що ця кислота є одним із проміжних продуктів біосинтезу кон'югованої форми лінолевої кислоти. В складі поживного середовища була наявна вільна лінолева кислота. Саме її присутність у культуральній рідині індукує біосинтез кон'югованої форми, про що може свідчити відсоток залученості цього попередника в процесі біосинтезу — 95%, а загальний відсоток синтезованої кон'югованої форми лінолевої кислоти з-поміж інших кислот складає 80%, що й пояснює таку високу її концентрацію в культуральній рідині під кінець культивування (Ogawa, Matsumura, Kishino, Omura, & Shimizu, 2001).

Для створення пластифікаторів на основі жирних кислот необхідна досить велика кількість цих кислот. При цьому мікробний синтез кислот має низьку ефективність (табл. 2). Також слід наголосити на необхідності використання специфічних попередників біосинтезу, що призводить до високих витрат на їх отримання, підвищуючи таким чином вартість самих пластифікаторів. При цьому пластифікатори на основі органічних кислот мають нижчу якість, ніж отримані на основі фенолів і спиртів.

Використання фенолів та їх похідних у виробництві пластифікаторів. Пластифікатори на основі фенолів мають схожі показники еластичності, міцності і якості з пластифікаторами на основі спиртів. Проте відсоток їх використання при виробництві пластифікаторів є досить низьким саме через складність отримання самих фенолів. При цьому феноли можуть бути отримані за допомогою різних груп мікроорганізмів (табл. 3).

Таблиця 3. Особливості біотехнології фенолів та їх похідних

Продуцент	Тип продуцента	Концентрація фенолу, г/л	Особливості біосинтезу фенолу	Джерело
<i>Метакрезол</i>				
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> JHY162	Генно-модифікований штаб дріжджів	0,18	Температура 30 °C, рН 6,7, перемішування 180 об/хв	Hitschler, & Boles, 2019
<i>Aspergillus nidulans</i> FGSC A1145ΔSTAΔEM	Генно-модифікований штаб грибів	2,03	Температура 37 °C, рН 6,5, перемішування 250 об/хв	Wang, An, Yao, Meng, & Gao, 2021
<i>Фенол</i>				
<i>Pseudomonas taiwanensis</i> VLB120Δ5-TPL36	Генно-модифікований штаб бактерій	0,32	Температура 30 °C, рН 7,1, перемішування 200 об/хв	Wynands та ін., 2018

<i>Escherichia coli</i> UY3R:DY1–3, <i>Escherichia coli</i> UY2R:DY2–3	Генно- модифікований штам бактерій	0,283	Температура 37 °С, рН 7,0, перемішування 250 об/хв	Guo та ін., 2019
<i>Escherichia coli</i> PheBL21	Генно- модифікований штам бактерій	3,79	Температура – 25 °С, рН 6,8, перемішування 200 об/хв	Kim, Park, Na, & Lee, 2014

Для отримання фенолів, що будуть використовуватися у виробництві пластифікаторів, можна використовувати різні групи мікроорганізмів, а сам спектр використовуваних фенолів та їх похідних досить значний, але найбільш часто вживаними можна вважати метакрезол і фенол.

Досліджено здатність рекомбінантних дріжджів *S. Cerevisiae* JHY162 синтезувати метакрезол з цукру. При конструюванні генно-інженерного штаму був реалізований гетерологічний шлях, що ґрунтується на декарбоксилюванні полікетидуб-метилсаліцилової кислоти, який є попередником метакрезолу. При цьому концентрація 6-метилсаліцилової кислоти у культуральній рідині досягала понад 2 г/л. Також автори показали, що при надмірній концентрації метакрезолу в культуральній рідині (приблизно при 450—750 мг/л) відбувається пригнічення росту і розвитку дріжджів, що пов'язано з токсичною дією самого метакрезолу (Hitschler, & Boles, 2019).

Показано біосинтез метакрезолу за допомогою грибів *A. nidulans* FGSC A1145ΔSTΔEM, клітини якого споживають крохмаль як джерело вуглецю. Для біосинтезу метакрезолу грибною культурою ген *pat*, що кодує синтазу 6-метилсаліцилової кислоти, і ген *pat G*, що кодує декарбоксилазу 6-метилсаліцилової кислоти коекспресували в клітинах *A. nidulans*. Для підвищення синтезу метакрезолу було застосовано кілька стратегій, включаючи промоторну інженерію, клонування генів та ферментацію з підживленням, що призвело до синтезу метакрезолу у високих концентраціях — 1,29 г/л та 2,03 г/л (Wang, An, Yao, Meng, & Gao, 2021).

Наступним важливим компонентом у виробництві фосфоровмісних пластифікаторів виступає фенол, який можна отримати за допомогою рекомбінантних бактерій. Так, на основі клітин *P. taiwanensis* VLB120, сконструйовано штам псевдомонад, що має здатність синтезувати фенол з використанням відновлюваних джерел вуглецю. Для біосинтезу виключно фенолу було інактивовано численні катаболічні шляхи деградації ароматичних і споріднених сполук, таким чином отримали штам *P. Taiwanensis* VLB120Δ5-TPL36, нездатний рости на 4-гідроксibenзоаті (*ΔproA*), тирозині (*Δhpd*) і хінаті (*ΔquiC*, *ΔquiC1*, *ΔquiC2*). Така маніпуляція була необхідна для ідентифікації певного гену, що сприяє кінатному катаболізму — *quiC2*. Продукція фенолу була забезпечена гетерологічною експресією кодон-оптимізованого та інтегрованого у геном *P. Taiwanensis* гену *Pantoea agglomerans* AJ2985*PaTPL2*, що кодує тирозин-фенол-ліазу. Геномна модифікація ендегенних генів, що кодують *TrpEP290S*, *AroF-1P148L* і *PheAT310I*, і делеція *rykA* підвищили синтез фенолу в 17 разів. Додаткова надекспресія у *P. Taiwanensis* окремих генів *Escherichia coli*, що кодують певні ферменти

(*AroGfbr* та *TyrAfbr*), ще більше посилила концентрацію фенолу у процесі його біосинтезу (Wynands та ін., 2018).

Досліджено здатність генно-модифікованих клітин *E. Coli* синтезувати фенол на середовищі з глюкозою як єдиним джерелом вуглецю. При цьому були створені штами ентеробактерій (*E. coli* UY3R:DY1–3 та *E. coli* UY2R:DY2–3), що мали два незалежні шляхи біосинтезу фенолу через 4-гідроксибензоат і тирозин. При цьому автори показали, що найвища концентрація фенолу в культуральній рідині спостерігається при їх сумісному культивуванні (Guo та ін., 2019).

Синтезують фенол і клітини генно-модифікованого штаму *E. Coli* PheBL21. Надмірна експресія генів, що залучені до шляху біосинтезу тирозину разом із тирозинфенолліазою в клітинах *E. coli*, призвела до здатності бактеріальних клітин синтезувати фенол з глюкози. Під час культивування штаму PheBL21 синтезується попередник фенолу — тирозин, а клітини цього штаму характеризуються високою активністю тирозинфенолліази і стійкістю до високих концентрацій фенолу (Kim, Park, Na, & Lee, 2014).

При використанні органічних кислот, фенолів та їх похідних можна отримувати пластифікатори різної міцності і якості. Основним недоліком використання цих органічних сполук є вища вартість, порівняно з пластифікаторами на основі спиртів, оскільки мікробний синтез кислот, фенолів та їх похідних є дороговартісним через малий вихід цільового продукту, а також необхідність підтримання специфічних умов культивування для надсинтезу цих сполук і високу вартість поживних середовищ порівняно з культивуванням продуцентів спиртів, які можна культивувати на відходах різних виробництв і при цьому отримувати високу концентрацію цільового продукту.

Спирти мікробного походження як основа для хімічного синтезу пластифікаторів. Основною сировиною для виробництва пластифікаторів є спирти, адже саме на їх основі, шляхом конденсації, синтезується 2-етилгексанол, який є складовою частиною більшості пластифікаторів.

Гексанол. Одним зі спиртів, що використовується для виробництва пластифікаторів є гексанол. Частка виробництва пластифікаторів на основі гексанолу складає 2,5% від загального відсотка спиртів, що застосовуються при отриманні пластифікаторів (Вуруш, 2004). Продуценти гексанолу характеризуються синтезом великої кількості побічних продуктів, що пов'язано з метаболічними шляхами біосинтезу гексанолу, зокрема наявністю альтернативних шляхів синтезу відмінних від гексанолу спиртів, що знижує вихід цільового продукту (Kottenhahn, 2021; Phillips, 2015; Cheon, 2014). Для біосинтезу цього спирту використовуються різні штами бактерій роду *Clostridium*, а також штами дріжджів роду *Kluyveromyces* (табл. 4).

Нещодавно був виділений штам *Clostridium carboxidivorans* P7, здатний синтезувати гексанол. Було досліджено вплив різних концентрацій суміші газів $N_2:CO_2:CO:H_2$ на біосинтетичну здатність цього продуцента. Також було визначено лімітуючий фактор біосинтезу гексанолу, зокрема токсичність самого цільового продукту. Експериментальним шляхом автори показали, що додавання олійного спирту як екстрагуючого розчинника і підтримання температури на рівні 30 °C підвищує вихід гексанолу в 2,5 раза. Застосування інших розчинників не дало необхідного результату, а при підвищенні температури до 37 °C взагалі

відміняється позитивний ефект при додаванні олеїнового спирту (Kottenhahn, Philipps, & Jennewein, 2021).

Таблиця 4. Особливості культивування продуцентів спиртів, що можуть використовуватися при виробництві пластифікаторів

Продуцент	Тип продуцента	Джерело вуглецевого та азотного живлення	Концентрація цільового продукту, г/л	Відсоток використання у виробництві пластифікаторів, %	Література
Гексанол					
<i>C. carboxidivorans</i> P7	Природний штам бактерій	Дріжджовий екстракт, хлорид амонію, суміш газів: 65% CO, 15% N ₂ , 15% CO ₂ , 5% H ₂	2,4	2,5	Kottenhahn, Philipps, & Jennewein, 2021
<i>K. marxianus</i> H4TM	Генно-модифікований штам дріжджів	Галактоза, середовище YP	0,15		Cheon та ін., 2014
Гліцерол					
<i>S. cerevisiae</i> 2-1190	Природний штам дріжджів	Меляса	80	1,8	Wang, Zhuge, Fang, & Prior, 2001
<i>D. tertiolecta</i> LB-999	Мікрорості	Середовище ATCC-1174 DA	5,8		Chow та ін., 2013
<i>S. elongatus</i> PCC 7942	Генно-модифікований штам бактерій	Середовище BG11	1,3		Hirokawa, Maki, Tatsuke, & Hanai, 2016
<i>C. magnoliae</i> LB (NRRL YB4226)	Природний штам дріжджів	Глюкоза, дріжджовий екстракт, сечовина	85,0		Sahoo, & Agarwal, 2001
Ізобутанол					
<i>E. coli</i> BLpLISOpntAB	Генно-модифікований штам бактерій	Глюкоза, дріжджовий екстракт	2,4	4,5	Song та ін., 2020
<i>C. glutamicum</i> iBALPK-4	Генно-модифікований штам бактерій	Глюкоза, сечовина, дріжджовий екстракт	20,7		Hasegawa, Jojima, Suda, & Inui, 2020

<i>S. cerevisiae</i> YEZ167-4	Генно-модифікований штам дріжджів	Глюкоза, дріжджовий екстракт	8,5	4,5	Zhao та ін., 2018
<i>Z. mobilis</i> ZM4	Генно-модифікований штам бактерій	Глюкоза, дріжджовий екстракт	4,0		Qiu та ін., 2020
<i>E. coli</i> BFA7.001(DE3) pCT13	Генно-модифікований штам бактерій	Глюкоза, дріжджовий екстракт	1,9		Trinh, Li, Blanch, & Clark, 2011
Бутанол					
<i>C. saccharobutylicum</i> DSM 13864	Природний штам бактерій	Гідролізат водоростей	8,05	36	Gao, Orr, & Rehmann, 2016
<i>C. beijerinckii</i> YBS3	Природний штам бактерій	Глюкоза, дріжджовий екстракт	12,32		Zhou та ін., 2020
<i>C. acetobutylicum</i> PTCC 1492, <i>Nesterenkonia</i> sp. F	Природні штами бактерій	Глюкоза, дріжджовий екстракт	13,6		Ebrahimi, Amiri, Asadol-lahi, & Sho-jaosadati, 2020
<i>C. saccharoperbutyla-cetonicum</i> N1-4	Природний штам бактерій	Глюкоза, масляна кислота	11,9		Zhou, Liu, &Yuan, 2020
<i>E. coli</i> BuT-3EA	Генно-модифікований штам бактерій	Глюкоза, середовище M9Y	6,2		Saini, Hong Chen, Chiang, & Chao, 2015
<i>E. coli</i> BW25113	Генно-модифікований штам бактерій	Глюкоза, середовище TB	30		Ferreira, Pereira, Wahl, & Rocha, 2020
<i>S. cerevisiae</i> UFMG-CM-Y267	Генно-модифікований штам дріжджів	Глюкоза, гідролізат шротів субпродуктів	0,042		Santos, Azam-buja, Avila, Pacheco, & Goldbeck, 2020
<i>C. acetobutylicum</i> YM1	Природний штам бактерій	Гідролізат рисових висівок	5,9		Al-Shorgani та ін., 2019
<i>C. cellulovorans</i> DSM 743B	Генно-модифікований штам бактерій	Лужний екстракт качанів кукурудзи	3,47		Bao та ін., 2021
<i>C. cellulovorans</i> 743B, <i>C. beijerinckii</i> NCIMB 8052	Природні штами бактерій	Лужний екстракт качанів кукурудзи	8,3		Wen та ін., 2014

<i>C. tyrobutyricum</i> (Δack)-pTBA	Генно-модифікований штам бактерій	Гідролізат лущиння сої	15,7	36	Yu, Xu, Tang, & Yang, 2015
<i>C. acetobutylicum</i> SS-2	Природний штам бактерій	Житній затор	11,2		Скроцький, Хоменко, Войчук, & Підгорський, 2018

Показано здатність до синтезу гексанолу рекомбінантних дріжджів *Kluveromyces marxianus* H4TM. Клітини дріжджів модифікували шляхом інтеграції п'яти комбінацій семи генів — *AtoB* (кодує ацетил-КоА-ацетилтрансферазу), *BktB* (кодує β-кетотіолазу), *Crt* (кодує кротоназу), *Hbd* (кодує 3-гідроксибутирил-КоА-дегідрогеназу), *MCT1* (кодує трансацилазу), *Ter* (кодує транс-еноіл-КоА-редуктазу) та *TES1* (кодує ацил-КоА-тіоестеразу), за рахунок чого штам H4TM синтезує гексанол у концентрації 0,15 г/л. Для отримання цих генів використовували штами *E. coli* (для отримання гену *AtoB*), *Ralstonia eutropha* (для отримання гену *BktB*), *Clostridium acetobutylicum* (для отримання генів *Crt* і *Hbd*), *Treponema denticola* (для отримання гену *Ter*), *S. cerevisiae* (для отримання гену *MCT1*), ген *TES1* міститься у геномі дріжджів *K. Marxianus* (Cheon та ін., 2014).

Використання цих продуцентів і їх технологій біосинтезу гексанолу дає змогу отримати цільовий продукт у відносно невисокій концентрації (табл. 4). Це пояснюється тим, що природних мікроорганізмів, які можуть синтезувати цей спирт у високих концентраціях, поки не виявлено, а ті, що відомі, синтезують гексанол лише як частину широкого спектра різноманітних вторинних метаболітів.

Гліцерол. Іншим спиртом, що використовується для синтезу пластифікаторів, є гліцерол (табл. 4). Частка використання цього спирту у виробництві пластифікаторів становить 1,8% (Wyrych, 2004). Як продуценти гліцеролу можна використовувати представників прокаріотичних культур і еукаріотичних організмів (Sahoo, 2001; Wang, 2001; Chow, 2013; Hirokawa, 2016; Semkiv, 2020).

Досліджено кілька стратегій біосинтезу гліцеролу на вуглеводневій сировині з використанням дріжджів: утворення комплексу між ацетальдегідом і бісульфіт-іонами, що уповільнює вироблення етанолу та відновлює окислювально-відновний баланс шляхом синтезу гліцеролу; вирощування дріжджів при значеннях рН близько 7 або вище; використання осмотолерантних дріжджів. Найкращою стратегією виявилася остання, що включає в себе використання осмотолерантних дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* 2-1190, при культивуванні яких можна отримати до 130 г/л гліцеролу. Але досягнення такої концентрації можливо лише при використанні лабораторних методів ферментації, в промислову масштабі найбільша концентрація гліцеролу становить 80 г/л, де як субстрат виступає м'яса (Wang, 2001; Semkiv, 2020).

Досліджено здатність до синтезу гліцеролу мікроводоростей *Dunaliella tertiolecta* LB-999. Продуцент не потребує генетичних модифікацій і здатний синтезувати гліцерол за допомогою власних систем синтезу. Було виявлено, що клітини

штаму LB-999 синтезують як внутрішньоклітинний (18%), так і позаклітинний (82%) гліцерол навіть при мізерній концентрації поживних речовин і у фазі загибелі клітини (Chow та ін., 2013).

Створено генно-модифікований штам ціанобактерій *Synechococcus elongatus* PCC 7942, клітини якого синтезують гліцерол. Продуцент культивували з додаванням вітаміну B₁₂ і без нього. В результаті було виявлено, що наявність цього вітаміну суттєво не впливає на вихід гліцеролу, оскільки генетичні маніпуляції, що були проведені над цим штамом, дають змогу клітинам *S. elongatus* PCC 7942 синтезувати гліцерол незалежно від наявності вітаміну B₁₂. Також було проведено ряд дослідів, що були направлені на встановлення оптимальної концентрації вуглекислого газу для інтенсифікації біосинтезу гліцеролу. В результаті було встановлено, що при подачі 3% газу концентрація спирту в культуральній рідині була найвищою — 1,3 г/л (Hirokawa, Maki, Tatsuke, & Hanai, 2016).

Проведені дослідження стосовно впливу умов культивування на вихід гліцеролу при використанні осмофільних дріжджів *Candidamagnoliae* I2B NRRLYB-4226. У результаті було виявлено, що на біосинтез гліцеролу впливають такі фактори: початкова концентрація глюкози, яка суттєво впливає на ріст самої культури, і її здатність до надсинтезу гліцеролу; через підвищення швидкості росту, споживання глюкози та збільшення кількості виробленого гліцеролу співвідношення C:N необхідно підтримувати у співвідношенні 20:1, оскільки його збільшення призводить до зменшення біосинтезу гліцеролу; для інтенсифікації процесу розчинення кисню швидкість аерації має становити 500 об/хв (Sahoo, & Agarwal, 2001).

Ізобутанол. Наступним спиртом, що використовується у виробництві пластифікаторів, є ізобутанол. Його використання складає 4,5% від загальної кількості спиртів, що використовуються для створення пластифікаторів (Wurpych, 2004). Як продуценти ізобутанолу використовуються різні штами бактерій і дріжджів (Qiu, 2020; Song, 2020; Hasegawa, 2020; Zhao, 2018; Trinh, 2011).

У 2020 р. створено генно-інженерний штам *Corynebacterium glutamicum* iBALPK-4, який при нестачі кисню здатний синтезувати досить велику кількість ізобутанолу. Для інтенсифікації процесу біосинтезу було проведено оптимізацію активності кожного ферменту, що бере участь у продукуванні цими бактеріями ізобутанолу: збільшення експресії генів *AHAS* і *KDC*; інактивація гену *pcrA* для зменшення побічного виробництва сукцинату та покращення виходу ізобутанолу; введення гену *EDP* для збільшення споживання глюкози та виробництва ізобутанолу; надекспресія гену *PTS* та інактивація гену *ilvE* для інактивації синтезу побічних продуктів і підвищення продуктивності ізобутанолу (Hasegawa, Jojima, Suda, & Inui, 2020).

Було досліджено вплив світла на синтез ізобутанолу рекомбінантним штамом *Saccharomyces cerevisiae* YEZ167-4. У клітини дріжджів були введені нові генетичні шляхи, що забезпечили перехід клітин від фази росту, яка спостерігалась за наявності світла, до фази біосинтезу спирту, що відбувалась у темряві. В результаті цього з'явилась можливість контролю процесу біосинтезу лише при використанні зміни освітлення в ферментаційному обладнанні (Zhao та ін., 2018).

Сконструйовано штам *Zymomonas mobilis* ZM4, в геномі якого присутній гетеролітичний ген *kdc* *ALactococcus lactis*, що кодує 2-кетоізовалерат декарбокси-

лозу. Також було визначено, що надекспресія гетерологічного гена *als* і двох нативних генів *ilvC* і *ilvD*, які беруть участь у метаболізмі валіну в рекомбінантному штамі ZM4, що експресує *kdcA*, може заблокувати перетворення пірувату на етанол і тим самим привести до біосинтезу ізобутанолу. Встановлено, що рекомбінантні клітини *Z. mobilis* ZM4, що містять синтетичний оперон, *als-ilvC-ilvD*, керований *Ptet*, так і ген *kdcA*, керований конститутивним сильним промотором *Pgap*, синтезують ізобутанол у концентрації до 4г/л (Qiu та ін., 2020).

Клітини рекомбінантного штаму *E. Coli* BFA7.001 (DE3) pCT13 синтезують до 1,9 г/л ізобутанолу. При цьому особливістю процесу з використанням цього штаму є те, що біосинтез ізобутанолу відбувається в анаеробних умовах і при цьому синтезується мінімальна кількість побічних продуктів (Trinh, Li, J., Blanch, & Clark, 2011). На основі клітин *E. coli*, які синтезують ізобутанол, сконструйовано штам BLpLISOpnt AB за рахунок введення в геном клітин гетерологічного синтетичного оперону, що кодує синтез полігідроксибутирату. Введення оперону створило метаболічні переваги для синтезу ізобутанолу за рахунок конкуренції за використання джерела вуглецю через відмінності в силі промоторів. При цьому ізобутанол є екзогенним метаболітом, а полігідроксибутират синтезується в самій клітині, що дає змогу легко розділити ці два продукти (Song та ін., 2020).

Продукти ізобутанолу характеризуються різною біосинтетичною здатністю до продукції цього спирту (табл. 4), що зумовлено особливостями біосинтетичних систем даних клітин. Біосинтез ізобутанолу відбувається лише при певних умовах, які досить важко підтримувати в стабільному стані, і тому під час культивування синтезується певний спектр речовин, що перетягують більшу частину поживних речовин на власний біосинтез, не дозволяючи таким чином отримати ізобутанол у великих концентраціях.

Бутанол. Вищеназвані спирти використовуються для створення пластифікаторів лише в малій кількості, що робить масштабування їх виробництва на промисловий рівень не вигідним. Найбільший відсоток використання спиртів у створенні пластифікаторів (майже 36%) займає бутанол (Wuruch, 2004). Для культивування продуцентів бутанолу можна використовувати різні поживні середовища, що можуть складатися з набору певних відомих речовин (глюкоза, гліцерин, різні солі тощо), або з комплексних субстратів невизначеного складу (екстракти, гідролізати тощо).

У дослідженнях з біосинтезу бутанолу дослідники часто використовують середовища визначеного складу, а продуцентами бутанолу виступають переважно різні представники роду *Clostridium* (табл. 4), а також генно-модифіковані штами *Escherichia coli* (Gao, 2016; Saini, 2015; Zhou, 2020; Ebrahimi, 2020; Ferreira, 2020) та *Saccharomyces cerevisiae* (Потапенко, & Скроцька, 2020). Але використання дорогих синтетичних середовищ для культивування продуцентів бутанолу є не виправданим, тому що концентрація цього спирту не така висока, як при використанні середовищ з природними компонентами (Скроцький, 2018). До речі, вони характеризуються відновлюваністю, дешевизною і високим ступенем засвоєння штамами клостридій, для яких така сировина є типовою. У дикій природі ці мікроорганізми якраз і використовують як субстрат такі джерела вуглецю. Саме тому в них розвинулися певні механізми, що дають змогу швидко перероблювати

природні субстрати в поживні речовини, які надалі включаються у метаболізм клостридіальних клітин.

Так, досліджено здатність клітин *Clostridium saccharobutylicum* DSM 13864 до синтезу бутанолу. При цьому як джерело вуглецю використовували гідролізат водоростей, які обробляли гексаном. У результаті вивільнявся великий спектр вуглеводів, які використовувались штамом DSM 13864 для росту та біосинтезу спирту. Така технологія потребувала детоксикації через підвищену кислотність після гідролізу. Автори також перевірили біосинтетичні можливості клостридій при культивуванні на середовищі з використанням гідролізату водоростей без попередньої детоксикації. В результаті концентрація бутанолу зменшилася на 17% (Gao, Ott, & Rehmann, 2016).

В іншому дослідженні автори оптимізували склад поживного середовища та умови культивування клостридій *Clostridium beijerinckii* YBS3. При цьому дослідили вплив окремих концентрацій різних джерел вуглецю на вихід бутанолу при вирощуванні штаму YBS3 (Zhou та ін., 2020). Встановлено вплив різних концентрацій глюкози та масляної кислоти в складі поживного середовища на біосинтез бутанолу при культивуванні штаму *Clostridium saccharoperbutylacetonicum* N1-4 (Zhou, Liu, & Yuan, 2020).

Проведені дослідження стосовно здатності клостридій продукувати бутанол в присутності кисню. В результаті було виявлено, що штами клостридій не можуть рости в присутності кисню, але при спільному культивуванні двох штамів *Clostridium acetobutylicum* PTCC 1492 та *Nesterenkonia* sp. F можна досягти певної стабільності процесу навіть у присутності кисню. Штам *Nesterenkonia* sp. F, здатний синтезувати бутанол, споживає кисень з атмосфери, виробляючи таким чином бутанол та інші метаболіти, що можуть бути засвоєні і перероблені штамом клостридій. У результаті концентрація бутанолу в культуральній рідині становила 13,6 г/л (Ebrahimi, Amiri, Asadollahi, & Shojaosadati, 2020).

Серед рекомбінантних продуцентів бутанолу досліджені штами *Escherichia coli* BuT-3EA та *Escherichia coli* BW25113. Ці продуценти культивують на відносно дорогих комплексних середовищах, але при цьому концентрація самого бутанолу в культуральній рідині є досить високою — 30 г/л для штаму BW25113 (Saini, 2015; Ferreira, 2020).

Альтернативним варіантом біосинтезу бутанолу є використання як субстратів різноманітних відходів. Це економічно вигідно, оскільки вартість відновлюваних компонентів відносно низька. Також використання відходів у біотехнології бутанолу є екологічно доцільним.

Як біологічні агенти, що використовуються для біопереробки відходів різних виробництв та біосинтезу бутанолу, використовують природні штами та генномодифіковані клітини клостридій і дріжджів. Ці продуценти здатні засвоювати поживні речовини з різних гідролізатів і шротів, що виступають єдиним джерелом вуглецю та азоту, оскільки клостридії можуть рости навіть при відносно невеликих концентраціях необхідних мікроелементів. Головною умовою для їх продуктивного росту і розвитку є повна відсутність кисню у ферментаційному середовищі, тому що вони належать до облигатних анаеробів. Також конструюють рекомбінантні штами дріжджів, що здатні синтезувати бутанол та рости на середовищах, в складі яких є відходи різних виробництв, але при цьому концен-

трація спирту в культуральній рідині є надто низькою (Wen, 2014; Wen, 2019; Al-Shorgani, 2019; Bao, 2021; Santos, 2020).

Розроблено технологію культивування клостридій (*Clostridium acetobutylicum* SS-2 і *Clostridium acetobutylicum* SS-5) для одержання бутанолу, де як джерела вуглецю й азоту використовують житній затор. Вказані штами не піддавалися генетичним маніпуляціям і були виділені з навколишнього середовища: штам SS-2 — з курячого посліду, а штам SS-5 — із силосних ям. Найвища концентрація бутанолу при культивуванні обох штамів досягається при значенні pH, що є близьким до нейтрального — 6,5). Клітини *C. acetobutylicum* SS-2 і *C. Acetobutylicum* SS-5 синтезують відносно велику кількість бутанолу в культуральній рідині, не продукуючи при цьому велику кількість побічних продуктів, що вигідно виділяє ці штами з-поміж інших клостридій (Скроцький, Хоменко, Войчук, & Підгорський, 2018).

Як джерело вуглецю під час біосинтезу бутанолу можна використовувати гідролізат лушпиння сої (Пирог, Скроцька, & Скроцький, 2019), який отримують шляхом кислотного гідролізу лушпиння сої соляною кислотою при 121 °C. При культивуванні *Clostridium tyrobutyricum* (Δack)-pTBA на середовищі з цим джерелом вуглецю синтезується бутанол у концентрації 15,7 г/л (Yu, Xu, Tang, & Yang, 2015).

Перелік перспективних продуцентів спиртів, які використовуються у виробництві пластифікаторів, наведено в табл. 4.

При культивуванні продуцентів бутанолу може синтезуватися певна кількість ізобутанолу, який можна використовувати для отримання бутанолу шляхом ізомеризації, що підвищує цінність цього побічного продукту порівняно з іншими спиртами, які синтезуються під час культивування різних штамів клостридій. Так, під час культивування *Clostridium beijerinckii* YBS3 та *Clostridium tyrobutyricum* Δcat1:adhE2 синтезується ізобутанол у концентрації 2, 5 та 1 г/л відповідно (Zhou, 2020; Wen, 2019).

Отже, серед усіх спиртів, які є основою при виробництві пластифікаторів, слід виділити бутанол, природні продуценти якого синтезують його у високих кількостях. Також у процесі культивування продуцентів бутанолу можливий синтез ізобутанолу, який можна використовувати для отримання саме бутанолу. При цьому пластифікатори на основі бутанолу характеризуються високою міцністю, еластичністю та справедливим відношенням ціни до якості з-поміж інших сполук, які використовують при виробництві пластифікаторів.

Висновки

Для виробництва пластифікаторів використовують різні групи сполук — органічні кислоти, феноли та їх похідні, а також спирти. При цьому спирти найбільш часто використовуються як основа для виробництва пластифікаторів. Під час біосинтезу спиртів з використанням мікроорганізмів їх можна отримувати у високих концентрації, використовуючи при цьому як джерела вуглецю та азоту різні відходи промисловості, що робить біотехнологію спиртів надзвичайно дешевою й екологічною.

Література

Пирог, Т. П., Скроцька, О. І., Скроцький, С. О. (2019). Лігноцелюлозні відходи як сировина для синтезу бутанолу клостридіями. *Наукові праці НУХТ*, 25(1), 16—32. doi: 10.24263/2225-2924-2019-25-1-4.

Потапенко В. В., Скроцька О. І. (2020). Отримання практично цінних сполук з використанням рекомбінантних дріжджів *Saccharomyces cerevisiae*. Частина 1: синтез етанолу, бутанолу та ізобутанолу. *Наукові праці НУХТ*, 26(5), 41—52. doi: 10.24263/2225-2924-2020-26-5-7.

Скроцький, С. О. (2018). Органовмісні відходи виробництва як субстрати для біосинтезу бутанолу бактеріями роду *Clostridium*. *Наукові праці НУХТ*, 24(2), 34—43. doi:10.24263/2225-2924-2018-24-2-6.

Скроцький, С. О., Хоменко, Л. А., Войчук, С. І., Підгорський, В. С. (2018). Особливості росту та біосинтетична активність сольвентогенних бактерій роду *Clostridium*. *Мікробіол. журн.*, 80(2), 3—13. doi: 10.15407/microbiolj80.02.003.

Al-Shorgani, N. K. N., Al-Tabib, A. I., Kadier, A., Zani, M. F., Lee, K. M., Kalil, M. S. (2019). Continuous butanol fermentation of dilute acid-pretreated de-oiled rice bran by *Clostridium acetobutylicum* YM1. *Sci. Rep.*, 9, 4622. doi: 10.1038/s41598-019-40840-y.

Bao, T., Hou, W., Wu, X., Lu, L., Zhang, X., Yang, S. T. (2021). Engineering *Clostridium cellulovorans* for highly selective n-butanol production from cellulose in consolidated bioprocessing. *Biotechnol. Bioeng.*, 118(7), 2703—2718. doi: 10.1002/bit.27789.

Bialecka-Florjańczyk, E., Florjańczyk, Z. (2007). Solubility of plasticizers, polymers and environmental pollution. T. Letcher (Ed.), *Biology*, Elsevier, New York, pp. 397—407. doi: 10.1016/B978-044452707-3/50024-0.

Cheon, Y., Kim, J.-S., Park, J.-B., Heo, P., Lim, J. H., Jung, G. Y., ..., Kweon, D.-H. (2014). A biosynthetic pathway for hexanoic acid production in *Kluyveromyces marxianus*. *J. Biotechnol.*, 182—183, 30—36. doi: 10.1016/j.jbiotec.2014.04.010.

Choi, G. G., Kim, B. H., Ahn, C. Y., Oh, H. M. (2011). Effect of nitrogen limitation on oleic acid biosynthesis in *Botryococcus braunii*. *J. Appl. Phycol.*, 23, 1031—1037. doi: 10.1007/s10811-010-9636-1.

Chow, Y. Y., Goh, S. J., Su, Z., Ng, D. H., Lim, C. Y., Lim, N. Y., ..., Lee, Y. K. (2013). Continuous production of glycerol from carbon dioxide by *Dunaliella tertiolecta*. *Bioresour. Technol.*, 136, 550—555. doi: 10.1016/j.biortech.2013.03.040.

Coakley, M., Ross, R. P., Nordgren, M., Fitzgerald, G., Devery, R., Stanton, C. (2003). Conjugated linoleic acid biosynthesis by human-derived *Bifidobacterium species*. *J. Appl. Microbiol.*, 94(1), 138—145. doi: 10.1046/j.1365-2672.2003.01814.x.

Diamantopoulou, P., Filippousi, R., Antoniou, D., Varfi, E., Xenopoulos, E., Sarris, D., Papanikolaou, S. (2020). Production of added-value microbial metabolites during growth of yeast strains on media composed of biodiesel-derived crude glycerol and glycerol/xylose blends. *Microbiology Letters*, 367(10), fnaa063. doi:10.1093/femsle/fnaa063.

Ebrahimi, E., Amiri, H., Asadollahi, M. A., Shojasadati, S. A. (2020). Efficient butanol production under aerobic conditions by coculture of *Clostridium acetobutylicum* and *Nesterenkonia* sp. strain F. *Biotechnol. Bioeng.*, 117(2), 392—405. doi: 10.1002/bit.27221.

Ferreira, S., Pereira, R., Wahl, S. A., Rocha I. (2020). Metabolic engineering strategies for butanol production in *Escherichia coli*. *Biotechnol. Bioeng.*, 117(8), 2571—2587. doi:10.1002/bit.27377.

Gao, K., Orr, V., Rehmann, L. (2016). Butanol fermentation from microalgae-derived carbohydrates after ionic liquid extraction. *Bioresour. Technol.*, 206, 77—85. doi:10.1016/j.biortech.2016.01.036.

Guo, X., Li, Z., Wang, X., Wang, J., Chala, J., Lu, Y., Zhang, H. (2019). De novo phenol bioproduction from glucose using biosensor-assisted microbial co-culture engineering. *Biotechnol. Bioeng.*, 116, 3349—3359. doi:10.1002/bit.27168.

Hasegawa, S., Jojima, T., Suda, M., Inui, M. (2020). Isobutanol production in *Corynebacterium glutamicum*: Suppressed succinate by-production by pckA inactivation and enhanced productivity via the Entner–Doudoroff pathway. *Metab. Eng.*, 59, 24—35. doi: 10.1016/j.ymben.2020.01.004.

- Hirokawa, Y., Maki, Y., Tatsuke, T., Hanai, T. (2016). Cyanobacterial production of 1,3-propanediol directly from carbon dioxide using a synthetic metabolic pathway. *Metab. Eng.*, 34, 97—103. doi:10.1016/j.ymben.2015.12.008.
- Hitschler, J., Boles, E. (2019). De novo production of aromatic m-cresol in *Saccharomyces cerevisiae* mediated by heterologous polyketide synthases combined with a 6-methylsalicylic acid decarboxylase. *Metab. Eng. Commun.*, 9, e00093. doi: 10.1016/j.mec.2019.e00093.
- Kim, B., Park, H., Na, D., Lee, S. Y. (2014). Metabolic engineering of *Escherichia coli* for the production of phenol from glucose. *Biotechnol. J.*, 9(5), 621—629. doi:10.1002/biot.201300263.
- Kottenhahn, P., Philipps, G., Jennewein, S. (2021). Hexanol biosynthesis from syngas by *Clostridium carboxidivorans* P7 — product toxicity, temperature dependence and in situ extraction. *Heliyon*, 7(8), e07732. doi:10.1016/j.heliyon.2021.e07732.
- Marwani, E., Kurniawan, I. (2019). Biomass and Algal Oil Productivity with Fatty Acid Profiles of *Botryococcus* Sp. Cultures Under Different Concentrations of Nitrogen. *Indian Journal of Science and Technology*, 12(47). doi: 10.17485/ijst/2019/v12i47/148651.
- Ogawa, J., Matsumura, K., Kishino, S., Omura, Y., Shimizu, S. (2001). Conjugated linoleic acid accumulation via 10-hydroxy-12-octadecaenoic acid during microaerobic transformation of linoleic acid by *Lactobacillus acidophilus*. *Appl. Environ. Microbiol.*, 67(3), 1246—1252. doi:10.1128/AEM.67.3.1246-1252.2001.
- Phillips, J. R., Atiyeh, H. K., Tanner, R. S., Torres, J. R., Saxena, J., Wilkins, M. R., Huhnke, R. L. (2015). Butanol and hexanol production in *Clostridium carboxidivorans* syngas fermentation: Medium development and culture techniques. *Bioresource Technol.*, 190, 114—121. doi:10.1016/j.biortech.2015.04.04.
- Qiu, M., Shen, W., Yan, X., He, Q., Cai, D., Chen, S., ..., Yang, S. (2020). Metabolic engineering of *Zymomonas mobilis* for anaerobic isobutanol production. *Biotechnol. Biofuels*, 13, 15. doi:10.1186/s13068-020-1654-x.
- Ribeiro, S. C., Stanton, C., Yang, B., Ross, R. P., Silva, C. C. G. (2018). Conjugated linoleic acid production and probiotic assessment of *Lactobacillus plantarum* isolated from pico cheese. *LWT-Food Sci. Technol.*, 90, 403—411. doi: 10.1016/j.lwt.2017.12.065.
- Sahoo, D. K., Agarwal, G. P. (2001). An investigation on glycerol biosynthesis by an osmophilic yeast in a bioreactor. *Process Biochem.*, 36(8—9), 839—846. doi:10.1016/S0032-9592(00)00291-0.
- Saini, M., Hong Chen, M., Chiang, C. J., Chao, Y. P. (2015). Potential production platform of n-butanol in *Escherichia coli*. *Metab Eng.* 2015, 27, 76—82. doi: 10.1016/j.ymben.2014.11.001.
- Santos, B. A. S., Azambuja, S. P. H., Avila, P. F., Pacheco, M. T. B., Goldbeck, R. (2020). n-Butanol production by *Saccharomyces cerevisiae* from protein-rich agro-industrial by-products. *Braz. J. Microbiol.*, 2020, 51, 1655—1664. doi: 10.1007/s42770-020-00370-6.
- Semkiv, M. V., Ruchala, J., Dmytruk, K. V., Sibirny, A. A. (2020). 100 Years later, what is new in glycerol bioproduction? *Trends Biotechnol.*, 38(8), 907—916. doi:10.1016/j.tibtech.2020.02.001.
- Shah, A. M., Mohamed, H., Zhang, Z., Song, Y. (2021). Isolation, characterization and fatty acid analysis of *Gilbertella persicaria* DSR1: A potential new source of high value single-cell oil. *Biomass and Bioenergy*, 151, 106156. doi:10.1016/j.biombioe.2021.106156.
- Song, H.-S., Jeon, J.-M., Bhatia, S. K., Choi, T.-R., Lee, S. M., Park, S. L., ..., Yang, Y.-H. (2020). Enhanced isobutanol production by co-production of polyhydroxybutyrate and cofactor engineering. *J. Biotechnol.*, 320, 66—73. doi: 10.1016/j.jbiotec.2020.06.017.
- Trinh, C. T., Li, J., Blanch, H. W., Clark, D. S. (2011). Redesigning *Escherichia coli* metabolism for anaerobic production of isobutanol. *Appl. Environ. Microbiol.*, 77(14), 4894—4904. doi:10.1128/aem.00382-11.
- Wang, W., An, C., Yao, Y., Meng, X., Gao, S. S. (2021). De novo biosynthesis and gram-level production of m-cresol in *Aspergillus nidulans*. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 105, 6333—6343. doi: 10.1007/s00253-021-11490-w.
- Wang, Z., Zhuge, J., Fang, H., Prior, B. A. (2001). Glycerol production by microbial fermentation: A review. *Biotechnol. Adv.*, 19(3), 201—223. doi:10.1016/s0734-9750(01)00060-x.

- Wen, Z., Ledesma-Amaro, R., Lin, J., Jiang, Y., Yang, S. (2019). Improved n-butanol production from *Clostridium cellulovorans* by integrated metabolic and evolutionary engineering. *Appl. Environ. Microbiol.*, 85(7), e02560—18. doi: 10.1128/AEM.02560-18.
- Wen, Z., Wu, M., Lin, Y., Yang, L., Lin, J., Cen P. (2014). Artificial symbiosis for acetone-butanol-ethanol (ABE) fermentation from alkali extracted deshelled corn cobs by co-culture of *Clostridium beijerinckii* and *Clostridium cellulovorans*. *Microb. Cell Fact.*, 13, 92. doi: 10.1186/s12934-014-0092-5.
- Wynands, B., Lenzen, C., Otto, M., Koch, F., Blank, L. M., Wierckx, N. (2018). Metabolic engineering of *Pseudomonas taiwanensis* VLB120 with minimal genomic modifications for high-yield phenol production. *Metab. Eng.*, 47, 121—133. doi: 10.1016/j.ymben.2018.03.011.
- Wypych, G. (2004). Handbook of Plasticizers. ChemTec Publishing.
- Yazawa, H., Kamisaka, Y., Kimura, K., Yamaoka, M., Uemura, H. (2011). Efficient accumulation of oleic acid in *Saccharomyces cerevisiae* caused by expression of rat elongase 2 gene (rELO2) and its contribution to tolerance to alcohols. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 91(6), 1593—1600. doi:10.1007/s00253-011-3410-4.
- Yu, L., Xu, M., Tang, I.-C., Yang, S.-T. (2015). Metabolic engineering of *Clostridium tyrobutyricum* for n-butanol production through co-utilization of glucose and xylose. *Biotechnol. Bioeng.*, 112(10), 2134—2141. doi: 10.1002/bit.25613.
- Zhao, E. M., Zhang, Y., Mehl, J., Park, H., Lalwani, M. A., Toettcher, J. E., Avalos, J. L. (2018). Optogenetic regulation of engineered cellular metabolism for microbial chemical production. *Nature*, 555, 683—687. doi:10.1038/nature26141.
- Zhou, Q., Liu, Y., Yuan, W. (2020). Kinetic modeling of butyric acid effects on butanol fermentation by *Clostridium saccharoperbutylacetonicum*. *New Biotechnol.*, 55, 118—126. doi: 10.1016/j.nbt.2019.10.004.
- Zhou, Z. Y., Yang, S. T., Moore, C. D., Zhang, Q. H., Peng, S. Y., Li, H. G. (2020). Acetone, butanol, and ethanol production from puerariae slag hydrolysate through ultrasound-assisted dilute acid by *Clostridium beijerinckii* YBS3. *Bioresour. Technol.*, 316, 123899. doi: 10.1016/j.biortech.2020.123899.
- Zikou, E., Chatzifragkou, A., Koutinas, A. A., Papanikolaou, S. (2013). Evaluating glucose and xylose as cosubstrates for lipid accumulation and γ -linolenic acid biosynthesis of *Thamnidium elegans*. *J. Appl. Microbiol.*, 114(4), 1020—1032. doi: 10.1111/jam.12116.

DIGITALIZATION OF BUSINESS AS A KEY TO THE GROWTH OF COMPETITIVENESS AND COMPANIES SUCCESSFUL DEVELOPMENT IN A DYNAMIC BUSINESS MEDIUM

N. Skopenko, O. Kyrychenko

National University of Food Technologies

I. Yevsieieva-Severyna

Taras Shevchenko National University of Kyiv

Key words:

Digitalization

Modernization

Digital transformation

Business process

Article history:

Received 11.01.2023

Received in revised form
26.01.2023

Accepted 07.02.2023

Corresponding author:

N. Skopenko

E-mail:

skopnata67@gmail.com

ABSTRACT

A key factor of success for modern companies is the timely restructuring of business processes, considering the penetration of digital technologies in all spheres of society. Approaches to the definition of terms "digitization", "digitalization" and "digital transformation" are analysed. Attention is focused on the need to implement digital technologies in the activities of business structures for their successful functioning. The main stages of the business digitalization process are outlined, the need to adjust the architecture of solutions in accordance with the specifics of companies and business conditions is emphasized. The measures of implementation of digitalization in the business processes of companies that lead to tracking the parameters of all production operations, their control and making timely decisions on the need for corrective actions are revealed. On the example of leading companies, it is proved that the challenges of recent years have contributed to the restructuring of business processes, changes in business models, the use of digitalization to ensure the sustainable development of business organizations in today's changing external medium. It is emphasized that the effectiveness of business structures largely depends on the innovative and technological potential of each country, the level of technology development, the ability of the country's economy to develop in the context of digital transformations, which are increasingly taking place every year. The rating of countries by the level of network readiness is analysed, the place of Ukraine in this rating is determined. It is emphasized that despite the complexity of modern economic conditions in Ukraine, the government is working to increase the cyber resilience of the state and further improve digital technologies in all spheres of life. Such measures show that digitalization in Ukraine is gaining momentum and is the key to the survival and further development of domestic business structures.

ДІДЖИТАЛІЗАЦІЯ БІЗНЕСУ ЯК ЗАПОРУКА ЗРОСТАННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ТА УСПІШНОГО РОЗВИТКУ КОМПАНІЙ У ДИНАМІЧНОМУ СЕРЕДОВИЩІ ГОСПОДАРЮВАННЯ

Н. С. Скопенко, О. М. Кириченко

Національний університет харчових технологій

І. В. Євсєєва-Северина

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Ключовим фактором успіху сучасних компаній є вчасна перебудова бізнес-процесів, враховуючи проникнення цифрових технологій в усі сфери життя суспільства. Проаналізовано підходи до визначення термінів «оцифрування», «цифровізація», «діджиталізація» та «цифрова трансформація». Акцентовано увагу на необхідності імплементації цифрових технологій у діяльність бізнес-структур для успішного їх функціонування. Окреслено основні етапи процесу діджиталізації бізнесу, наголошено на необхідності проведення коригувань архітектури рішень відповідно до специфіки діяльності компаній та умов господарювання. Розкрито заходи імплементації цифровізації у бізнес-процеси компаній, що призводять до відстеження параметрів усіх виробничих операцій, їх контролю та прийняття вчасних рішень про необхідність коригуючих дій. Діджиталізація забезпечує підприємствам конкурентні переваги у всіх напрямках діяльності, що відображається в оптимізації виробничих процесів, прискоренні обслуговування клієнтів, покращенні якості готової продукції (послуг). На прикладі провідних компаній доведено, що виклики останніх років сприяли перебудові бізнес-процесів, зміні бізнес-моделей, застосуванню діджиталізації для забезпечення стійкого розвитку бізнес-організацій у сучасному мінливому зовнішньому середовищі господарювання. Наголошено, що ефективність діяльності бізнес-структур значним чином залежить від інноваційного та технологічного потенціалу кожної країни, рівня розвитку технологій, здатності економіки країни розвиватися в умовах цифрових трансформацій, які відбуваються дедалі активніше. Проаналізовано рейтинг країн за рівнем мережевої готовності, визначено місце України в цьому рейтингу. Акцентовано увагу на тому, що уряд працює над підвищенням кіберстійкості держави та подальшим удосконаленням цифрових технологій в усіх сферах життя, незважаючи на складність сучасних умов господарювання в Україні. Такі заходи свідчать, що діджиталізація в Україні набирає обертів і є запорукою виживання та подальшого розвитку вітчизняних бізнес-структур.

Ключові слова: діджиталізація, цифровізація, цифрова трансформація, бізнес-процес.

Постановка проблеми. Динамізм і нестабільність зовнішнього середовища, непередбачуваність впливу значної кількості чинників на діяльність бізнесових структур призвели до суттєвих змін у процесах господарювання більшості вітчиз-

зняних підприємств. Швидкість адаптації гарантує втримання досягнутих позицій і можливість подальшого існування та розвитку суб'єктів господарювання.

Виклики сьогодення та динамічність зовнішнього середовища суттєво впливають на зміну підходів до ведення бізнесу. Для втримання та розвитку конкурентних позицій на ринку суб'єкти господарювання працюють у напрямку оптимізації виробничих процесів, прискорення обслуговування клієнтів, покращення якості продукції шляхом перебудови бізнес-процесів.

Мета бізнесу трансформується від отримання прибутку до пропонування найкращої пропозиції клієнту в максимально короткий період часу та забезпечення цінності для всіх стейкхолдерів компанії.

Найбільшими змінами при веденні бізнесу протягом останніх років, відповідно до досліджень компанії АСС (Результати опитування, 2021), є запровадження гібридного робочого процесу, діджиталізація робочих процесів, розробка нових стратегій антикризового управління, впровадження стійких бізнес-моделей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню діджиталізації, цифровій перебудові бізнесу присвячено значну кількість праць зарубіжних і вітчизняних вчених сьогодення.

Зарубіжні вчені (Kraus та ін., 2022) приділяють особливу увагу аналізу категоріального апарата, синонімічним виразам, що асоціюються з діджиталізацією бізнесу та дослідженням поширення цифровізації на бізнес-середовище.

Дослідники розкривають підходи до визначення термінів «оцифрування», «цифровізація», «діджиталізація» та «цифрова трансформація», що часто використовуються як взаємозамінні. Розуміння відмінностей між оцифруванням та цифровізацією (оцифрування та діджиталізація) є критично важливим при розробці стратегії компанії.

Оцифрування — це процес перетворення інформації з фізичного формату в цифрову версію, тоді як діджиталізація — це практика використання технологій для покращення корпоративних процесів. Тобто оцифрування стосується інформації, тоді як діджиталізація стосується процесів. Цифрова трансформація передбачає зміну ділової активності, моделі та компетенцій з метою використання нових доступних технологій. Організації проходять цифрову трансформацію, коли впроваджують нові та креативні бізнес-моделі, засновані на технологічних досягненнях. Цифрова трансформація — це безперервний процес, що стосується перетворення цифрових даних на дієві ідеї, запровадження нових бізнес-моделей і зміни способу ведення бізнесу (Malak, 2022).

У глосарії (Gartner, 2022) зазначається, що оцифрування — це процес переходу з аналогової форми в цифрову, також відомий як цифрове забезпечення. Інакше кажучи, оцифрування бере аналоговий процес і переводить його в цифрову форму без будь-яких інших змін у самому процесі. Діджиталізація — це використання цифрових технологій для зміни бізнес-моделі та забезпечення нових можливостей отримання доходів і створення цінності. Це процес переходу до цифрового бізнесу.

Оцифрування означає створення цифрового представлення фізичних об'єктів або атрибутів. Цифровізація — це забезпечення або вдосконалення процесів шляхом використання цифрових технологій та оцифрованих даних. Цифрова транс-

формація — це фактично трансформація бізнесу за допомогою цифровізації (Gurta, 2020).

Діджиталізація (цифровізація) передбачає, що дані з усієї організації та її активів обробляються за допомогою передових цифрових технологій. Це спричиняє фундаментальні зміни в бізнес-процесах, які можуть призвести до нових бізнес-моделей і соціальних змін. За допомогою автоматизації та цифрових технологій підприємства можуть розкрити нову цінність даних, які були агреговані за допомогою оцифрування, стимулювати організаційні зміни та створювати нові бізнес-моделі. Загальний ефект цифровізації в організації називається цифровою трансформацією — це більше процес, ніж результат (Prause, 2020).

У праці (Heavi, & Power, 2018) автори наголошують на необхідності імплементації цифрових технологій у діяльність бізнес-структур для успішного їх функціонування, акцентують увагу, що цифрова трансформація сприяє підвищенню ефективності та результативності діяльності компаній.

У вітчизняній науковій літературі терміни «цифровізація» та «діджиталізація» є синонімами, що обґрунтовується можливістю перекладу поняття «digitalization» з англійської мови.

Вітчизняні дослідники (Устенко, & Руських, 2019) вважають, що діджиталізація являє собою корінні перетворення, які знаходять вияв у глибокому проникненні цифрових технологій у бізнес-процеси, їх оптимізації, підвищенні продуктивності та поліпшенні комунікаційної взаємодії зі споживачами. Ключова ознака подібних трансформацій — значні покращення в ефективності функціонування бізнес-процесів, скорочення грошових і часових витрат на їх підтримку.

Також зазначається (Лігоненко, Хріпко, & Доманський, 2018), що діджиталізація є необхідним процесом розвитку сучасних підприємств в умовах неоекономіки. Вона покликана спростити та прискорити роботу з великими базами даних, забезпечити автоматизацію всіх видів діяльності (основної та допоміжної, операційної, інвестиційної, фінансової), покращення комунікації з клієнтами, постачальниками та партнерами та всіма інститутами зовнішнього середовища, формування нових засад взаємодії в межах підприємства — між підрозділами, працівниками, менеджментом, перехід до нових організаційних форм господарювання (мережева та віртуальна економіка).

У праці (Устенко, & Руських, 2019) визнають, що діджиталізація бізнесу стає невідворотною тенденцією, ігнорування якої є ознакою відсталості й невідповідності сучасним вимогам. Стратегічні заходи щодо підвищення конкурентоспроможності будь-якого економічного суб'єкта повинні реалізовуватися в площині його цифрового виміру.

Головною особливістю діджиталізації (Гуренко, & Гашутіна, 2018) називають створення умов для більш комфортної й оперативної взаємодії бізнесу та споживачів.

У сучасних умовах головними чинниками розвитку процесів діджиталізації стають (Гуренко, & Гашутіна, 2018): поява новітніх цифрових технологій, формування нових потреб і запитів споживачів (орієнтація на економію часу, пошук і придбання товарів за чіткими параметрами); створення нових цінностей, властивостей товарів; зміна умов конкурентного середовища.

Метою дослідження є визначення здатності економіки країн розвиватися в умовах цифрових трансформацій; виявлення переваг трансформації (перебудови) діяльності компаній за рахунок діджиталізації бізнес-процесів для утримання досягнутих ринкових позицій і забезпечення подальшого розвитку.

Матеріали і методи. У процесі дослідження використано сукупність загальнонаукових і спеціальних методів наукового пізнання, зокрема: абстрактно-логічний (для обґрунтування теоретичних узагальнень, формулювання висновків); системно-структурного аналізу, формальної логіки та наукової абстракції (для визначення сутнісної характеристики ключових понять); індуктивний метод і метод групування — у процесі збору та обробки інформації; економіко-статистичний, індексний методи (для оцінювання показників та індикаторів мережевої готовності країн).

Для збору необхідних даних щодо напрямків інноваційного та технологічного потенціалу країн, рівня розвитку технологій, здатності економіки країн розвиватися в умовах цифрових трансформацій опрацьовано інформацію про рівень мережевої готовності країн світу за 2019—2021 роки (Network Readiness Index, 2019—2021).

Викладення основних результатів дослідження. Розвиток інноваційних технологій і засобів комунікації, проникнення цифрових технологій, автоматизації на всі рівні життя та економіки, горизонтальна та вертикальна інтеграція інформаційних технологій, поєднання різних технологій, створення нових кіберсистем та штучного інтелекту змінює бізнес-моделі та способи ведення сучасного бізнесу.

Актуальним напрямком є діджиталізація бізнесу, тобто «цифрова трансформація» суспільства й економіки, проникнення інформаційних та цифрових технологій в усі бізнес-процеси та сфери життя суспільства з метою їх оптимізації та автоматизації, підвищення продуктивності, покращення комунікацій, прискорення обслуговування клієнтів, збільшення їх лояльності до компанії.

Процес діджиталізації бізнесу відбувається в три етапи (Гусева, & Легомінова, 2018):

1. Аналіз компанії, постановка мети і розробка стратегії. Проведення аналізу всіх бізнес-процесів і стратегічних активів компанії: виявлення основних причин недоотримання цінності, визначення ефективності роботи всіх її відділів, виробництва, внутрішніх і зовнішніх комунікацій, оцінювання стратегічного результату від застосування діджитал-технологій, в основі яких спрощення бізнес-процесів, врахування ризиків, розробка діджитал-методології щодо отримання цінності.

2. Впровадження діджитал-технологій. Вибір діджитал-інструментів, впровадження яких передбачає цифрові експерименти для швидкого, клієнт-центричного інноваційного розвитку задля поширення інноваційної спроможності, запровадження платформ програм з low-code, які дають змогу швидко розгорнути та масштабувати експериментальні бізнес-додатки. Трансформаційні платформи забезпечують видимість бізнесу, покращують обслуговування клієнтів та високу експлуатаційну ефективність нововведень.

3. Аналіз отриманих результатів. Проведення аналізу ефективності діджитал-рішень, зміни динаміки отримання додаткових доходів у разі необхідності корегування архітектури рішень.

Сучасна трансформація бізнесу неможлива без діджиталізації бізнес-процесів підприємства. Під діджиталізацією (цифровізацією) бізнес-процесів розуміють автоматизацію ключових (основних), допоміжних (підтримуючих, забезпечувальних) бізнес-процесів і бізнес-процесів управління задля їх оптимізації та підвищення ефективності функціонування підприємства, у якій відбувається бізнес-процес (Лазебник, & Войтенко, 2020).

Цифровізація окремих бізнес-процесів передбачає послідовну імплементацію таких заходів: збирання інформації про бізнес-процес, його моделювання, ідентифікація; виявлення місць виникнення, оброблення та споживання інформації; моделювання інформаційних бізнес-процесів у рамках бізнес-процесів; модифікація інформаційної системи з урахуванням цієї моделі; створення автоматизованої інформаційної системи (за допомогою апаратно-програмних засобів); контролінг бізнес-процесів (фіксація параметрів бізнес-процесів в інформаційній системі, постановка планів, створення звітності тощо (Лазебник, & Войтенко, 2020).

Діджиталізація бізнесу є безперервним процесом: впровадження в роботу компаній будь-якого програмного забезпечення обґрунтовує необхідність його постійного оновлення та покращення відповідно до нових напрямків на ринку технологічних розробок. Однак цифровізація бізнес-процесів стає невіддільною частиною успішних підприємств.

Застосування діджиталізації створює низку конкурентних переваг підприємства в розрізі операційних процесів, підвищуючи їхній рівень прозорості та можливості вчасно прийняти управлінське рішення, миттєвого обміну інформацією між компетентними співробітниками, здійснення предикативних маркетингових досліджень і створення системних підходів до реагування. Організаційні відповіді на сигнали ризикових змін за рахунок діджиталізації формуються на принципах узгодженості, вчасності, дієвості, запобіганні кризових становищ (Гусева, & Легомінова, 2018).

Клаус Шваб (Schwab, 2016) стверджує, що діджиталізація сприятиме росту світового багатства та зменшенню нерівності між розвинутими та іншими країнами.

У (Schwab, 2016; Юрчак, 2017) визначено основні переваги діджиталізації:

1. Безпрецедентне (по експоненті, а не лінійне) зростання швидкості, об'єму та впливу інновацій, що забезпечить значне підвищення ефективності, продуктивності та скорочення витрат.

2. Безпрецедентне зростання даних і можливостей їх використання для нових технологій, що обґрунтовує краще залучення різних верств розробників — користувачів — клієнтів й сприяє розвитку.

3. Штучний інтелект стає реальністю (масова роботизація, розвиток біотехнологій).

Сучасні дослідники (Веретенникова, & Устименко, 2021; Лігоненко, Хріпко, & Доманський, 2018) відзначають й інші переваги діджиталізації бізнес-процесів (оптимізація та спрощення цифрових платформ; удосконалення методів розробки стратегії ведення бізнесу; спрощення роботи з інформацією, швидкий доступ

до будь-яких даних підприємства, якісна, швидка обробка та формування звітів, підвищення рівня контролю та якості аналітики; зростання продуктивності та зменшення витрат; підвищення ефективності роботи працівників; пришвидшення дистанційної комунікації працівників і клієнтів (наявність чат-ботів); мінімізація помилок у розрахунках, аналітиці та плануванні; високий рівень зв'язку з клієнтами та цільовою аудиторією; індивідуальний підхід до потреб клієнтів, покращення та прискорення обслуговування клієнтів; підвищення конкурентоспроможності та покращення іміджу підприємства вказують на можливі недоліки цифровізації (тривале оцифрування даних, необхідність регулярного підвищення кваліфікації працівників у сфері IT-технологій, потреба у якісному технічному оснащенні та своєчасному оновленні даних, необхідність постійної технічної підтримки, постійна увага до нововведень у галузі, скорочення персоналу; відсутність єдиної платформи щодо управління підприємством; збереження даних у різних системах і базах; високі витрати на інтеграцію різних інформаційних систем, необхідність у більшій обізнаності про кібербезпеку та конфіденційність даних).

Трансформації в діяльності компаній можуть проходити за двома сценаріями:

1. IT Transformation — це заповнення прогалів між бізнес-функціями та IT-функціями, що полягає в ретельному аналізі бізнес-процесів, їх переосмисленні, перебудові та формуванню стратегії подальшого розвитку компаній.

2. Digital Transformation Service пов'язаний із покращеннями існуючих процесів, які раніше були переведені в цифровий простір, але потребують ряду вдосконалень, базуючись на даних аналізу за певний проміжок часу. Цифрові напрацювання, відповідно до специфіки бізнес-операцій, можуть бути спрямовані в напрямку пришвидшення обслуговування споживачів, розширення послуг онлайн замовлень, швидкої реакції (зворотного зв'язку) «виробник-споживач».

Ефект від цифрової трансформації можна оцінити за допомогою досягнутих результатів роботи компанії (підвищення інвестиційної привабливості, зменшення рутинних завдань зі збирання та агрегації даних у бік виконання аналітичних, скорочення термінів підготовки консолідованої фінансової звітності тощо).

Водночас цифрова трансформація — це не лише технології, а й зміна культури всередині компанії. Так, на особливу увагу заслуговує діджиталізація процесів Групи Метінвест. Вона унікальна тим, що компанією збудований і підтримується один із найскладніших і найкомплексніших SAP-ландшафтів не лише в Україні, а й у Центральній і Східній Європі. У системах SAP працює понад 18 тис. працівників. Архітектура впроваджених у Метінвесті рішень SAP охоплює всі основні бізнес- та виробничі процеси (Велика трансформація: технології для ефективного бізнесу, 2022):

- системи управління ресурсами підприємств від фінансів до виробництва;
- управління контентом і майстер-даними;
- управління персоналом від кадрового адміністрування до встановлення цілей та оцінки ефективності;
- системи планування збуту, логістики та виробництва;
- мобільні платформи для управління ресурсами;
- системи звітності, бізнес-аналітики тощо.

Впровадження електронної закупівельної платформи на базі рішення SAP Ariba на 20 підприємствах групи дало змогу, окрім підвищення прозорості процесу та скорочення рутинних операцій, оптимізувати бюджет закупівель приблизно на 10%. У перерахунку на абсолютні цифри — це мільйони доларів.

Система SAP Success Factors відстежує весь шлях співробітника: від встановлення цілей до оцінки результативності. У системі працюють близько 50000 фахівців групи. SAP Success Factors скорочує час для формулювання завдань та оцінки результатів на 50%. HR фахівці, які адмініструють ці процеси, економлять близько 25% часу (Велика трансформація: технології для ефективного бізнесу, 2022).

Заслуговує на увагу проекти діджиталізації Групи компаній Укрлендфармінг (Ukrlandfarming 3LC). Впровадження цифрових технологій з одночасним проведенням реінжинірингу всіх бізнес-процесів дає змогу вдосконалити управління холдингом, а також збільшити прозорість та ефективність бізнесу. Система управління холдингу стає цілісним організмом, а процес управління та контролю діяльності базується на доступних, достовірних і всеосяжних даних. У холдингу розробляються власні програмні рішення, а також впроваджуються готові сучасні IT-розробки, що дало змогу створити одну з найкращих технологічних систем в агрогалузі України та стати частиною глобальної цифрової економіки (UKRLANDFARMING PLC, 2022):

- система збору й аналізу даних телеметрії з усієї техніки компанії TETRA — власна розробка. Включає технологічні модулі: система «Свій-чужий» контролює весь процес збору і переміщення врожаю від комбайна/поля до елеватора; щоденна звітність про виконані сільськогосподарські роботи надає можливість вчасно та швидко приймати необхідні рішення; система контролю використання пального від АЗС до бака техніки;

- технологія супутникового та безпілотного моніторингу посівів для спостереження за вегетацією і розвитком культур допомагає вчасно реагувати на різноманітні ситуації на полі;

- єдина нормативно-довідкова система на основі рішення «Master Data Management» надає всім співробітникам оперативний доступ до інформації;

- система планування і бюджетування «ТЕП» дає змогу управляти всіма технологічними операціями на всіх рівнях вертикально-орієнтованого холдингу;

- інформаційна система на базі «ІН-АГРО: Управління Агрохолдингом» об'єднує всі підприємства групи і забезпечує прийняття правильних фінансових рішень;

- єдина система «Централізоване казначейство» автоматизувала всі функції казначейства з бізнес-процесами контролю платежів і забезпечила планування фінансових потоків;

- відеоконференцз'язок від Cisco дає змогу спілкуватися з колегами з усіх 22 регіонів України по відео. Система об'єднує 350 користувачів, а в онлайн-конференціях беруть участь більше 40 учасників одночасно.

Отже, діджиталізація — це довгострокові вкладення в інвестиційну привабливість компанії.

Ефективність діяльності бізнес-структур значним чином залежить від інноваційного й технологічного потенціалу кожної країни, рівня розвитку технологій,

здатності економіки країни розвиватися в умовах цифрових трансформацій, які дедалі активніше відбуваються з кожним роком.

Інститут Портуланс (Portulans Institute) і Всесвітній альянс інформаційних технологій і послуг (World Information Technology and Services Alliance) щорічно випускають звіт, у якому аналізують індекс мережевої готовності — комплексний показник, що характеризує рівень розвитку інформаційно-комунікаційних технологій країн світу. Автори дослідження виходять з ідеї, що існує тісний зв'язок між розвитком інформаційно-комунікаційних технологій та економічним благополуччям, адже технології відіграють сьогодні провідну роль у розвитку країн, підвищенні продуктивності та конкурентоспроможності, диверсифікують економіку і стимулюють ділову активність громадян, сприяючи таким чином підвищенню рівня життя людей (Рейтинг країн по рівню мережевої готовності, 2021).

Експерти розраховували індекс мережевої готовності (Networked Readiness Index — NRI) на підставі 60 різних показників, які об'єднані в чотири групи:

- економіки. Саме тому цей компонент має на меті оцінити рівень технологій, який є обов'язковою умовою участі країни у світовій економіці;
- людський фактор — наявність і рівень технологій в країні представляє інтерес лише в тій мірі, в якій її населення та організації мають доступ, ресурси та навички для їх продуктивного використання;
- управлінські навички — наскільки безпечними є окремі особи та фірми в контексті мережевої економіки, регулювання та цифрової інклюзії;
- вплив — відображає готовність до мережевої економіки як засіб для поліпшення зростання і добробуту в суспільстві й економіці.

У табл. 1 наведено рейтинг 10 найкращих країн за рівнем мережевої готовності у 2019—2021 рр. та України.

Таблиця 1. NRI 10 країн-лідерів та України

Країни	2021			2020			2019	
	Рейтинг	Оцінка	Зміна порівняно з попереднім роком	Рейтинг	Оцінка	Зміна порівняно з попереднім роком	Рейтинг	Оцінка
Нідерланди	1	82,06	0,69	4	81,37	– 0,41	3	81,78
Швеція	2	81,57	– 1,18	1	82,75	0,1	1	82,65
Данія	3	81,24	– 0,95	2	82,19	1,11	6	81,08
США	4	81,09	2,18	8	78,91	– 1,41	8	80,32
Фінляндія	5	80,47	0,31	6	80,16	– 0,18	7	80,34
Швейцарія	6	80,2	– 0,21	5	80,41	– 0,67	5	81,08
Сінгапур	7	80,01	– 1,38	3	81,39	– 0,74	2	82,13
Німеччина	8	78,95	1,47	9	77,48	– 0,75	9	78,23
Норвегія	9	78,49	– 0,9	7	79,39	– 1,91	4	81,30
Велика Британія	10	76,6	0,33	10	76,27	– 1,96	10	78,23
Україна	53	55,7	6,27	64	49,43	0,51	67	48,92

Джерело: складено авторами за даними (Network Readiness Index, 2019—2021; Рейтинг країн по рівню мережевої готовності, 2021).

З табл. 1 видно, що найвищий результат NRI зі всіх країн протягом 2019—2021 рр. отримала Швеція у 2020 р. (82,75 бала). Швеція, зважаючи на високі показники мережевої готовності, посідала перше місце в рейтингу два роки поспіль — у 2019 р. та 2020 р., у 2021 р. показники дещо знизилися і країна поступилась місцем Нідерландам.

Нідерланди у 2021 р. посіли перше місце в рейтингу з показником NRI = 82,06 бала, що вище на 0,69 бала порівняно з 2020 роком. Нідерланди значно покращили рівень розвитку інформаційних-комунікаційних технологій протягом останніх років: країна у 2019 та 2020 рр. посіла 3 і 4 місце з показниками 81,78 та 81,37 бала відповідно.

Третє місце у 2021 р. посіла Данія з показником 81,24 бала, причому у 2020 р. показник був кращим на 0,95 бала і вона посіла друге місце в рейтингу. Проте показник мережевої готовності за період з 2019 р. до 2020 р. покращився і Данія перемістилася з 6 місця на друге.

У 2021 р. США поліпшила рівень мережевої готовності (NRI збільшився на 2,18 бала), що дало змогу посісти 4 місце в рейтингу, порівняно з 8 місцем, на якому вона була два роки поспіль. Варто зазначити, що в топ-10 світових корпорацій, які домінують на ринку інформаційних технологій, входять сім американських ІТ-корпорацій: Apple, Microsoft, Alphabet, Meta, Amazon, Tesla та Nvidia. Ринкова капіталізація зазначених семи американських ІТ-компаній складає 8,03 трлн дол. США (станом на 24 жовтня 2022 р.), що становить більше 48% ринку (Companies Market Cap, 2022).

Сінгапур, навпаки, значно погіршив показник NRI порівняно з 2019 р. (2 місце) та 2020 р. (3 місце) і посів 7 місце у рейтингу.

Німеччина два роки поспіль не змінювала місце в рейтингу, показник мережевої готовності знизився лише на 0,75 бала у 2020 р. порівняно з попереднім, проте у 2021 р. NRI зріс на 1,47 бала, що дало змогу країні переміститися на 8 місце у рейтингу.

Норвегія у 2021 р. погіршила свої показники, що характеризують рівень мережевої готовності, порівняно з 2019 р. (4 місце) та 2020 р. (7 місце) на 1,91 та 0,9 бала відповідно і посіла 9 місце в рейтингу.

Велика Британія три роки поспіль посідала 10 місце у списку, проте абсолютне значення показника мережевої готовності у 2020 р. зменшилося порівняно з 2019 р., а у 2021 р., навпаки, зросло, але все ж NRI залишився меншим ніж у 2019 році.

Україна посідає 53 місце (з оцінкою NRI = 55,7 бала) серед 130 країн, включених до NRI-2021. Показники країн-лідерів значно перевищують індекс мережевої готовності України, проте серед країн з доходом нижчим за середній, наша країна посідає 1 місце. Необхідно зазначити, що Україна значно підвищила своє місце в рейтингу та піднялася з 67 місця у 2019 р. до 53 — у 2021 році. За цей період абсолютне значення NRI зросло на 6,78 одиниці.

Детальніше складові (індикатори) індексу мережевої готовності України за 2019—2021 рр. представлено в табл. 2.

Протягом 2019—2021 рр. Україна значно покращила оцінки та місце в рейтингу за кожним складовим індексом мережевої готовності. Найвищий рейтинг у

2021 р. спостерігається за показниками «вплив» та «населення». Проте найбільше можливостей для вдосконалення є у сфері управління.

Таблиця 2. Індекс мережевої готовності України та його складові у 2019- 2021 роках

Складові NRI	2019		2020		2021	
	Рейтинг	Оцінка	Рейтинг	Оцінка	Рейтинг	Оцінка
A. Технології	71	43,01	62	41,51	50	49,2
1-й підрівень: доступ	78	53,72	79	54,12	60	67,15
2-й підрівень: зміст	56	48,74	46	39,90	42	45,53
3-й підрівень: технології майбутнього	82	26,57	53	30,50	57	34,92
B. Населення	63	42,05	65	48,87	48	54,29
1-й підрівень: фізичні особи	68	53,88	63	56,22	17	74,62
2-й підрівень: підприємства	48	35,69	52	48,53	50	46,44
3-й підрівень: уряди	87	36,58	71	41,85	71	41,80
C. Управління	67	58,32	58	58,19	57	58,93
1-й підрівень: довіра	70	53,00	49	50,66	55	49,57
2-й підрівень: регулювання	72	61,26	83	61,48	61	65,02
3-й підрівень: інклюзія	70	60,69	72	62,42	65	62,19
D. Вплив	65	53,31	79	49,16	47	60,40
1-й підрівень: економіка	75	15,76	62	26,17	42	46,73
2-й підрівень: якість життя	82	54,97	77	62,86	57	69,01
3-й підрівень: цілі сталого розвитку	43	86,22	91	58,46	53	65,45
NRI	67	48,92	64	49,43	53	55,7

Примітка: складено авторами за даними (Network Readiness Index, 2019—2021; Рейтинг країн по рівню мережевої готовності, 2021).

З кожним роком діджиталізація набирає обертів у нашій країні, і навіть військові дії та кризові явища не зупиняють цей процес. Урядом України розроблено програму заходів щодо відновлення країни від наслідків війни, в якій передбачено розвиток цифрової економіки та підвищення кіберстійкості держави (Проект Плану відновлення України. Матеріали робочої групи «Діджиталізація», 2022). Запропоновані кроки сприятимуть інтеграції України в Єдиний цифровий ринок ЄС, реформування ІТ-освіти та гарантій функціонування ІТ-бізнесу.

Висновки

Діджиталізація є інноваційним трендом сьогодення, що позитивно впливає на продуктивність виробничих процесів, забезпечує ефективність функціонування та розвитку підприємств. Діджиталізація бізнесу сприяє формуванню більш досконалих бізнес-процесів, забезпечуючи гнучкість, адаптивність і кращу пристосованість суб'єкта господарювання до швидких змін зовнішнього середовища, результатом чого є підвищення його конкурентоспроможності. Ефективність ци-

фрової трансформації діяльності бізнес-структур залежить від інноваційно-технологічного потенціалу країни, рівня розвитку сучасних інформаційно-комунікаційних технологій, здатності населення та організацій до продуктивного використання ІТ.

Перспективою подальших досліджень може стати вивчення досвіду провідних країн світу, які займають лідируючі позиції в рейтингу мережевої готовності, та шляхів розвитку компаній, що функціонують в їхньому розвинутому просторі, для імплементації найкращих практик цифрових перетворень (трансформацій) у діяльність сучасних вітчизняних бізнес-структурі життя суспільства.

Література

Велика трансформація: технології для ефективного бізнесу (2022). Взято з: <https://tech.liga.net/ua/all/article/bolshaya-transformatsiya-tehnologii-dlya-effektivnogo-biznesa>.

Веретенникова, Г. Б., Устименко, О. С. (2021). *Діджиталізація, як інструмент управління підприємством*. Бізнес, інновації, менеджмент: проблеми та перспективи: матеріали II міжнар. наук.-практ. конф. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. Видавництво «Політехніка».

Гуренко, А. В., Гашутіна, О. Е. (2018). Напрями розвитку систем управління в умовах діджиталізації бізнесу в Україні. *Економіка і суспільство*, 19, 739—745.

Гусева, О. Ю., Легомінова, С. В. (2018). Діджиталізація — як інструмент удосконалення бізнес-процесів, їх оптимізація. *Економіка. Менеджмент. Бізнес*, 1(23), 33—39.

Лазебник, Л. Л., Войтенко, В. О. (2020). Інформаційна інфраструктура в цифровізації бізнес-процесів підприємства. *Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету*, 42, 18—22. Взято з: <http://www.vestnikeconom.mgu.od.ua/journal/2020/42-2020/5.pdf>.

Лігоненко, Л., Хріпко, А., Доманський, А. (2018). Зміст та механізм формування стратегії діджиталізації в бізнес-організаціях. *Міжнародний науковий журнал «Інтернаука». Економічні науки*, 22(62), 21—24.

Проект Плану відновлення України. Матеріали робочої групи «Діджиталізація». (2022) Взято з: https://uploads-ssl.webflow.com/625d81ec8313622a52e2f031/62c4577defe5bf7afedc5b4a_%D0%94%D1%96%D0%B4%D0%B6%D0%B8%D1%82%D0%B0%D0%BB%D1%96%D0%B7%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8F.pdf.

Результати опитування (2021). Бізнес-клімат в Україні: рік локдауну. Взято з: https://chamber.ua/wpcontent/uploads/2021/03/AmCham_CITI_survey_2021_UA_FINAL.pdf.

Рейтинг країн по рівню мережевої готовності. (2021). Взято з: <https://nonews.co/directory/lists/countries/networked-readiness-index>.

Устенко, М., Руських, А. (2019). Діджиталізація: основа конкурентоспроможності підприємства в реаліях цифрової економіки. *Вісник економіки транспорту і промисловості*, 68, 181—192.

Юрчак, О. В. (2017). Індустрія 4.0 — що це таке та навіщо це Україні. Взято з: <https://appau.org.ua/publications/industriya-4-0-shho-tse-take-ta-navishho-tse-ukrayini/>.

Gartner Glossary. (2022). Взято з: <https://www.gartner.com/en/glossary>.

Gupta, M. S. (2020). What is Digitization, Digitalization, and Digital Transformation? Взято з: <https://www.arcweb.com/blog/what-digitization-digitalization-digital-transformation>.

Heavin, C., Power, D. J. (2018). Challenges for digital transformation-towards a conceptual decision support guide for managers. *Journal of Decision Systems. Journal of Decision Systems*, 27, 38—45. <https://doi.org/10.1080/12460125.2018.1468697>.

Kraus, S., Durst, S., Ferreira, J., Veiga, P., Kailer, N., Weinmann, A. (2022). Digital transformation in business and management research: An overview of the current status quo. *International Journal of Information Management*, 63. Взято з: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268401221001596>.

Largest tech companies by market cap. (2022). CompaniesMarketCap.com. Взято з: <https://companiesmarketcap.com/tech/largest-tech-companies-by-market-cap>.

Malak H. (2022). Digitization vs Digitalization: What's The Difference? The ECM Consultant. Information Management Simplified. Взято з: <https://theecmconsultant.com/digitization-vs-digitalization/>.

Network Readiness Index. (2021). Benchmarking the Future of the Network Economy. Portulans institute. Взято з: <https://networkreadinessindex.org>.

Prause, J. (2020). Digitization vs digitalization. SAP Insights. Взято з: <https://www.sap.com/insights/digitization-vs-digitalization.html>.

Schwab K. (2015). The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond. Foreign Affairs. December 12. Взято з: <https://www.foreignaffairs.com/world/fourth-industrial-revolution>.

UKRLANDFARMING PLC. (2022). Взято з: <https://www.ulf.com.ua/ua/>.

ORGANIZATION OF MARKETING INTERNET EVENTS

L. Kapinus, I. Boiko, O. Leleka

National University of Food Technologies

Key words:

Event marketing
Online event
Trends
Target audience
Brand

Article history:

Received 11.01.2023
Received in revised form
26.01.2023
Accepted 01.02.2023

Corresponding author:

L. Kapinus

E-mail:

larisa.kapinus@gmail.com

ABSTRACT

The article describes that the rapid development of digital technologies, globalization of the economy, digitization of the population, the Covid-19 pandemic, Russia's war against Ukraine and many other reasons have activated a deepened interest in finding ways of forming marketing communication in the Internet. As a result, enterprises use various marketing tools to influence the consumer audience, including event marketing tools. This research is dedicated to studying of the peculiarities of the organization and conduction of marketing events in the Internet. The prospects for the development of the event industry in the Internet were substantiated and the main trends that changed the organization and holding of online events were studied: free attendance of events with prior registration, the hybridity of the format of holding events, the use of the presence effect (holography), Face ID for contactless registration at physical events, technology development and investment in creating virtual studios for the possible participation of large number of people. The interpretation of the concept of "online marketing event" has gained further development, which includes a list of approaches to attract the target Internet audience with the aim of forming positive emotions in it. The advantages and disadvantages of holding online events are also studied in this article.

A model of organizing an online event is proposed, in which the main role is focused on attracting the target audience through various online marketing tools in order to create positive emotions in the target audience and increase brand recognition among consumers and the formation of consumer loyalty.

During the research, the main negative points during online events, which should be avoided, were described: it is unacceptable to follow the performance regulations, to write a lot of information in the chat, to hold online events without pauses, to use nicknames instead of real names, not to exclude third-party notifications on devices.

ОРГАНІЗАЦІЯ МАРКЕТИНГОВИХ ІВЕНТІВ У МЕРЕЖІ ІНТЕРНЕТ

Л. В. Капінус, І. А. Бойко, О. О. Лелека

Національний університет харчових технологій

Стрімкий розвиток цифрових технологій, глобалізація економіки, цифровізація населення, пандемія Covid-19, війна росії проти України та інші причини активізували поглиблений інтерес до пошуку шляхів формування маркетингових комунікацій у мережі Інтернет. У зв'язку з цим підприємства почали використовувати різноманітні маркетингові інструменти впливу на споживчу аудиторію, в тому числі інструменти івент-маркетингу. Це дослідження присвячено вивченню особливостей організації та проведення маркетингових івентів у мережі Інтернет. Обґрунтовано перспективи розвитку івент-індустрії в мережі Інтернет та вивчено основні тренди, які змінили організацію та проведення онлайн-івентів: безкоштовне відвідування заходів за попередньою реєстрацією, гібридність формату проведення івентів, використання ефекту присутності (голографія), Face ID для безконтактної реєстрації на фізичних івентах, розвиток технологій та інвестування в створення віртуальних студій для можливої участі великої кількості людей. Набуло подальшого розвитку трактування поняття «маркетинговий онлайн-захід», що включає в себе перелік підходів для залучення цільової інтернет-аудиторії з метою формування в неї позитивних емоцій. Вивчено переваги та недоліки проведення онлайн-подій.

Запропоновано модель організації проведення онлайн-івенту, в якому основна роль зосереджена на залученні цільової аудиторії через різноманітні інструменти онлайн-маркетингу з метою створення позитивних емоцій у цільової аудиторії та підвищення впізнаваності бренду серед споживачів і формування споживчої лояльності.

У ході дослідження виявлено основні негативні моменти під час проведення онлайн-івентів, яких слід уникати: недопустимо не дотримуватися регламентів виступів, писати багато інформації в чаті, проводити онлайн-івенти без пауз, використовувати нікнейми замість реальних імен, не вимикати сторонні сповіщення на пристроях.

Ключові слова: івент-маркетинг, онлайн-захід, цільова аудиторія, тренди, бренд.

Постановка проблеми. Зважаючи на сучасні світові виклики (глобалізація та діджиталізація суспільства) та загрози (епідемія Covid-19, війна росії проти України), організація онлайн-подій на сьогодні є дуже затребуваними послугами в івент-індустрії (Таха, & Ляшенко, 2022; Reshef et al., 2020). Усе більше з'являється інноваційних рішень і платформ, які підтримують можливості проведення заходів в онлайн-середовищі. Теперішні інформаційно-комунікаційні технології дають змогу не лише організовувати виступи спікерів, але й повністю забезпечувати розважальну частину інтерактивами, шоу, виступами ведучих та артистів.

Розуміння необхідності та перспективи розвитку івент-маркетингу на онлайн-ринку підштовхують науковців до розвитку теоретико-практичних основ дослідження організації сучасних маркетингових онлайн-заходів для розв'язання проблеми підвищення ефективності маркетингових комунікацій бренду з цільовою аудиторією.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Управління подіями набуло розвитку в академічній і прикладній сферах за останні 30 років як самостійний інструмент піару (Backman, 2018). У дослідженнях, присвячених організації та проведенню івентів, вчені розглядають як теоретичний аспект проведення заходів, так і практичний. Широкий ретроспективний аналіз розвитку та управління подіями провів К. Бекмен. Дослідник зазначив, що управління подіями стає цікавим напрямком для академічної сфери та науковців, а також запропонував напрямок управління подіями протягом наступних 30 років (Backman, 2018). Формування івент-сфери є частиною економічного, соціального, культурного та ділового середовища. Поняття «подія» трактується науковцями як нестандартна послуга, де знання, поведінка та лояльність публіки є критеріями вивчення ефективності проведення заходу. Крім того, одним із показників оцінювання ефективності проведення заходу виокремлено такий, як задоволеність учасників. Цей показник враховує взаємодію клієнтів, місце проведення івенту, дизайн локації та окремих елементів у сценарії, систему управління, якість роботи волонтерів, персоналу, поєднання яких ускладнює оцінювання якості проведення заходу. Підприємства мають враховувати типи клієнтів, до яких вони звертаються з новими подіями, тому повинні розробляти нові заходи або урізноманітнювати вже проведені івенти (Moise et al., 2012). Вчені розробляли стратегії та тактики маркетингу подій, щоб збільшити дохід від продажу квитків. Їхні кількісні дослідження з вивчення цільової аудиторії дають змогу обирати інструменти управління подієвим маркетингом (Sun et al., 2022).

У (Werner et al., 2022) досліджено майбутні навички трьох груп учасників заходу (професіоналів, викладачів і студентів) у трьох країнах: Китаї, Німеччині та Австралії. Результати показують, що для організаторів, які будуть займатися створенням подій у майбутньому, важливо мати такі навички: знання цифрових технологій, вміння створювати комунікаційні зв'язки, прагнення до втілення інновацій, наявність лідерських здібностей. Для того, щоб зрозуміти практику управління подіями, розроблена модель управління івентами, яка включає розгляд передумов, упереджень, тригерів і різних процесів. Модель може використовуватися в сучасному управлінні подіями (Thomas, & Stephens, 2022).

У напрацюваннях В. Мисик виокремлено й охарактеризовано ключові чинники впливу на формування та розвиток івент-менеджменту в діяльності підприємства (Мисик, 2020). В. Новікова, Н. Бондар, Л. Шаран у своїх працях досліджували питання розвитку івент-маркетингу в Україні, де акцентували увагу на тому, що саме подієвий маркетинг має велике значення для комерційних підприємств, що націлені на отримання прибутку, а також на доцільності впровадження івент-менеджменту в діяльності підприємств (Novikova, 2019).

Чимало напрацювань науковців спрямовано на вивчення зміни стилю проведення подій під час Covid-19 (Coles, 2022). Щоб забезпечити баланс між роботою та особистим життям, а також зберегти здоров'я під час пандемії Covid-19, до-

цільно організовувати саме онлайн-конференції, які мають такі переваги: безкоштовна участь, глобально доступна зустріч, адже ні учасникам, ні спікерам не потрібно витрачати час і кошти на дорогу (Reshef, 2020).

Незважаючи на певний внесок науковців і практиків у розгляд теоретико-практичних основ дослідження заходів, залишаються недостатньо розглянутими питання організації та проведення онлайн-івентів з метою залучення цільової аудиторії.

Мета дослідження: вивчення маркетингових підходів щодо організації та проведення онлайн-заходів з метою залучення цільової аудиторії.

Матеріали і методи. В основу дослідження покладено загальнонаукові методи: структурно-порівняльний та наукового узагальнення (для уточнення поняття «маркетинговий онлайн-захід»); наукового абстрагування (обґрунтування необхідності проведення маркетингових онлайн-івентів у сучасному житті); порівняльного аналізу (при вивченні технічних інструментів для проведення онлайн-івентів); системного аналізу та синтезу (для формування моделі організації онлайн-заходу з урахуванням інструментів залучення відвідувачів); анкетного онлайн-опитування (при дослідженні організації проведення онлайн-івентів).

З метою вивчення вимог відвідувачів щодо організації та проведення онлайн-івентів було проведено Google-опитування тих респондентів, які хоч раз брали участь в онлайн-події. Для збору й обробки кількісної інформації використано сучасні інформаційні технології та програмне забезпечення.

Викладення основних результатів дослідження. З розвитком онлайн-технологій збільшується кількість інтернет-користувачів, особливо в соціальних мережах. Багато маркетингових подій проводиться онлайн — презентації, шоу, фестивалі, виставки. Віртуальні івенти надають можливість учасникам спілкуватися, навчатися, переживати емоційний досвід, а підприємствам — ознайомлювати потенційну цільову аудиторію зі своїми брендами (Афенченко та Шумлянська, 2017; Мунтян та ін., 2021; Пічик, 2016).

Маркетинговий онлайн-захід — вид івенту, який проводиться в онлайн-форматі з використанням різноманітних інформаційно-технічних засобів і креативних підходів у сценаріях, що спрямовуються на максимальне залучення цільової аудиторії з метою презентації товару (послуг) інтернет-відвідувачам. Онлайн-формат має багатофункціональні можливості і підходить для всіх маркетингових онлайн-заходів з просування товарів підприємства.

Великим недоліком онлайн-подій є відсутність можливості спілкуватися наживо. Серед переваг варто виділити: можливість спілкуватися на віддалі, економія коштів (не потрібно орендувати локацію і витрачатися на харчування), можливість провести івент, навіть коли є обмеження на масові заходи чи за умови відсутності можливості зібрати учасників заходу в одному місці (Reshef, 2020).

Однією з головних вимог щодо проведення успішного онлайн-івенту є визначення мети події. Наприклад, це може бути презентація нового товару, залучення нових клієнтів, інформування громадськості про відкриття нових торговельних точок, в яких можна придбати бренд, підбиття підсумків роботи за календарний рік, відзначення професійного свята тощо. Тобто потрібно виробити унікальну торговельну пропозицію для інформаційного приводу.

Успішний онлайн-іве́нт можливий лише тоді, коли чітко визначена цільова аудиторія бренду. Необхідно розуміти поведінкові особливості споживачів бренду, знати інтернет-засоби, в яких анонсувати подію, що відбудеться.

Онлайн-іве́нт — це потужний інструмент піару. Найголовніша цінність події — це ті почуття та емоції, які створюються інтернет-аудиторією. Саме тому організатори часто звертаються до законів мистецтва та його різних жанрів, щоб змусити відвідувачів співпереживати: боятися, страждати, сміятися, відчувати щастя, радість. Вдалий онлайн-іве́нт — це маленький спектакль, який забезпечує позитивні емоції у відвідувачів. Так потенційний покупець занурюється в стан щастя за допомогою організованої онлайн-події, і в подальшому може позитивно сприймати бренд, який рекламувався через цю подію, та лояльно ставитися до нього.

Онлайн-іве́нт має бути інтегрований у загальну маркетингову стратегію підприємства (бренду) (Повалій, & Світайло, 2021).

Характеристики основних технічних інструментів для організації онлайн-подій узагальнено в таблиці.

Таблиця. Технічні інструменти для організації онлайн-іве́нтів

Інструмент	Посилання на онлайн-платформу	Характеристика
Zoom	https://zoom.us/	Платформа для онлайн-зустрічей і вебінарів. Zoom у зв'язку з пандемією Covid-19 і широкомасштабним військовим вторгненням росії на територію України зняв 40-хвилинне обмеження на конференції за участю більше двох осіб у своїй безкоштовній версії
Microsoft Teams	https://products.office.com/.../micro.../group-chat-software	Платформа для корпоративного спілкування (в особистих і групових чатах), обміну файлами, проведення нарад. Доступна також у мобільній версії
Youtube Livestream	https://clickmeeting.com/	Платформа для проведення вебінарів, нарад, презентацій в онлайн-форматі. Перевага перед Zoom — не потрібно нічого завантажувати, оскільки сервіс працює в браузері. Надається 30 днів безкоштовного тестового періоду, чат з підтримкою функції перекладу на 52 мови та можливість проводити опитування безпосередньо під час івенту
Crowdcast	https://www.crowdcast.io/	Програма, що перетворює вебінари і віртуальні конференції на інтерактивні заходи. Наприклад, з її допомогою можна ставити запитання спікерам, проводити опитування аудиторії
RingCentral	https://www.ringcentral.com/	Платний хмарний додаток для дзвінків по всьому світу (в тому числі в режимі конференц-зв'язку). Особливо актуальний для міжнародних компаній
6connex	https://www.6connex.com/	Платформа для проведення віртуальних заходів (торговельних, освітніх). З її допомогою можна організувати майже будь-яку онлайн-подію: від співбесіди і корпоративного навчання до віртуальної виставки або саміту

Продовження таблиці

HeySummit	https://heysummit.com/	Дає змогу організувати івент (включно з продажем квитків), керувати ним і потім підбити підсумки з усією необхідною статистикою. Команда HeySummit пропонує безкоштовну допомогу з віртуалізації заходів, які були скасовані через коронавірус
Demio	https://demio.com/	Платформа для проведення вебінарів з інструментами для маркетингу
Shindig	https://www.shindig.com/	Платформа, яка надає можливість провести онлайн-подію для великої аудиторії (до 1000 осіб). Це можуть бути відеолекції, відеоконференції тощо. Глядачі мають змогу обговорювати подію в приватних чатах. Івент можна транслювати в прямому ефірі за допомогою YouTube і Facebook Live
Twitch	https://www.twitch.tv/	Стрімінговий сервіс з багатомільйонною аудиторією. Починали з трансляції онлайн-ігор і кіберспортивних турнірів. Але зараз тематика трансляцій ширша (їжа, подорожі, музичні виступи). Також з'явилися інструменти для віртуального нетворкінгу
Run the world	https://runtheworld.today/	Нова платформа для тих, хто шукає прості рішення. Дає змогу організовувати онлайн-заходи, використовуючи готові шаблони

Примітка: сформовано за (Слепцова, 2020; редакція «HappyMonday», 2020).

Дуже важливо користуватися не лише такими поширеними онлайн-платформами, як Zoom, GoogleMeet тощо (див. табл. вище), але й використовувати багатофункціональні платформи: конструктори для онлайн-заходів і стрімів. Важливо, щоб онлайн-платформа мала декілька мовних версій, працювала на всіх гаджетах (ноутбуках, комп'ютерах, смартфонах, планшетах), мала можливість брендувати платформу під кольори товару, який презентується, додавати блок із таймінгом заходу, модерувати подію в онлайн-чаті, мати ігрові можливості (гейміфікацію), стрімінгові платформи, відеокімнати. Крім того, важливо мати на платформі синхронний переклад, монетизацію (продаж квитків), форми реєстрації та збирання контактів, запис і монтаж ефіру, тести (онлайн-опитувальники, e-mail-розсилку, онлайн-квести та квізи).

Протягом останніх років в івент-індустрії сформувалися нові тренди, які визначатимуть уподобання онлайн-відвідувачів онлайн-подій найближчим часом:

1. **Livestreaming** — можливість онлайн-трансляції заходів, що стає нормою цифрового життя. Як приклад, National Theatre Live в Лондоні запустив прямі трансляції своїх вистав у світові кінотеатри з використанням семи камер для забезпечення враження повного занурення віртуального глядача. Експерти вважають, що в найближчому майбутньому використання livestreaming буде одним із головних трендів в івент-індустрії.

2. Ефекти присутності — уможливлення максимального скорочення дистанції між спікерами, гостями та онлайн-глядачами за допомогою нових інформаційно-комп'ютерних технологій.

3. Справжні емоції в пріоритеті — підвищення боротьби брендів за споживчі емоції. Тому в основі маркетингових онлайн-заходів — створення сильних емоцій, що мають соціальне значення та спрямованість на якісну зміну життя людини.

4. Здоровий спосіб життя набирає популярності. Бренди прагнуть максимально асоціюватися з атрибутикою ЗСЖ.

5. Співпраця з організаторами заходу — зростання бажання людей отримувати свій безпосередній досвід на івенті, бути повноцінним учасником події.

6. «Родзинки» для людей цифрового світу — створення цікавих незвичайних моментів під час проведення онлайн-івентів, які мають рейтинг у соціальних мережах. Коли учасники бачать щось незвичайне, можуть про це публікувати на своїх сторінках соціальних мережі, що надає популярності товару, який презентується.

7. Інтернет речей — використання нових технологій і застосунків до смартфонів, що відкривають нові можливості для організаторів подій.

8. VR/AR-технології — інноваційні інструменти для інтерактиву, за допомогою яких можна робити цікаві презентації товару для учасників. Звісно, такі технології потребують багато витрат, але за ними майбутнє (Куриленко, 2020).

Зважаючи на теоретичні напрацювання та досвід практиків у сфері івент-послуг, пропонуємо теоретичну модель організації онлайн-заходу з урахуванням інструментів залучення відвідувачів (рис. 1).

Модель складається з двох блоків: планування онлайн-заходу та проведення онлайн-події. Планування онлайн-заходу передбачає визначення завдань онлайн-події, розроблення концепції онлайн-заходу, розроблення бюджету онлайн-заходу та розроблення і затвердження сценарію онлайн-заходу з огляду на вимоги цільової аудиторії. Вважається, що врахування потреб цільових відвідувачів подій та низка додаткових інструментів на онлайн-платформі сприятимуть підвищенню залучення цільової аудиторії.

Проведення онлайн-події — це більш відповідальна частина. Сюди відноситься анонсування та рекламна підтримка онлайн-заходу, генеральна репетиція онлайн-заходу, координація дій під час проведення івенту та моніторинг ефективності проведення онлайн-заходу.

У нашій моделі при плануванні івенту є етап «Розроблення і затвердження сценарію онлайн-заходу з урахуванням вимог цільової аудиторії». Ми намагалися з'ясувати, які негативні моменти під час онлайн-подій відчули відвідувачі. Для цього було проведено Google-опитування через мережу Інтернет тих респондентів, які хоча б раз брали участь в онлайн-івенті. Всього було опитано 119 осіб з різних регіонів України віком від 18 до 50 років.

В основу дослідження покладено уявлення про те, що кожен івент має орієнтуватися на свого цільового відвідувача, і організатори повинні уникати негативних моментів під час проведення онлайн-івентів. Вважається, що такий підхід допоможе підвищити залученість відвідувачів.

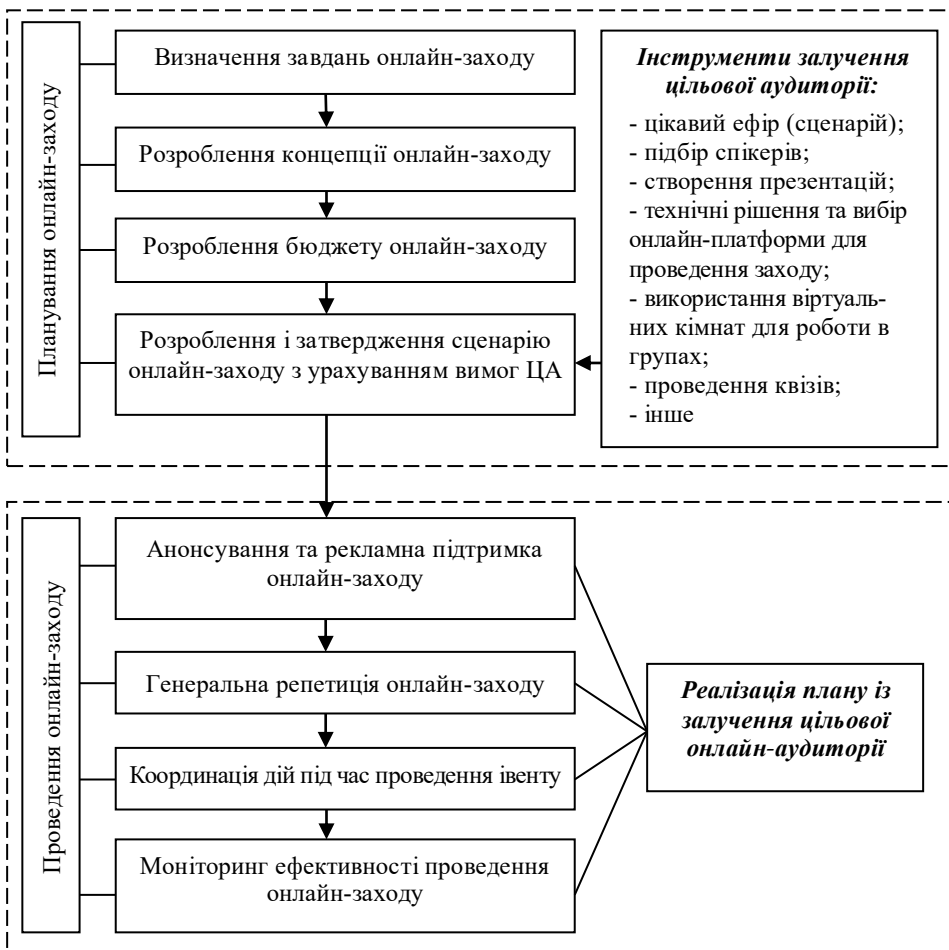


Рис. 1. Організація онлайн-заходу з урахуванням інструментів залучення відвідувачів

У ході дослідження виявлено негативні моменти, на які звертали увагу респонденти, коли брали участь у різних онлайн-заходах, і які вважають недопустимими при проведенні подій. Так, 88% респондентів зазначили, що недопустимо не дотримуватися регламентів виступів; 60% респондентів заявили, що їм не подобається, коли забагато інформації прописують у чаті; 67% респондентів вважають, що недопустимо проводити онлайн-івенти без пауз; 58% респондентів відповіли, що недопустимо використовувати нікнейми замість реальних імен; 68% респондентів відповіли, що не подобається, коли під час заходу не виключають сторонні сповіщення на пристроях (рис. 2).

Отримані результати дослідження мають враховуватися в запропонованій моделі при плануванні івенту на етапі розроблення і затвердження сценарію онлайн-заходу з огляду на вимоги цільової аудиторії.

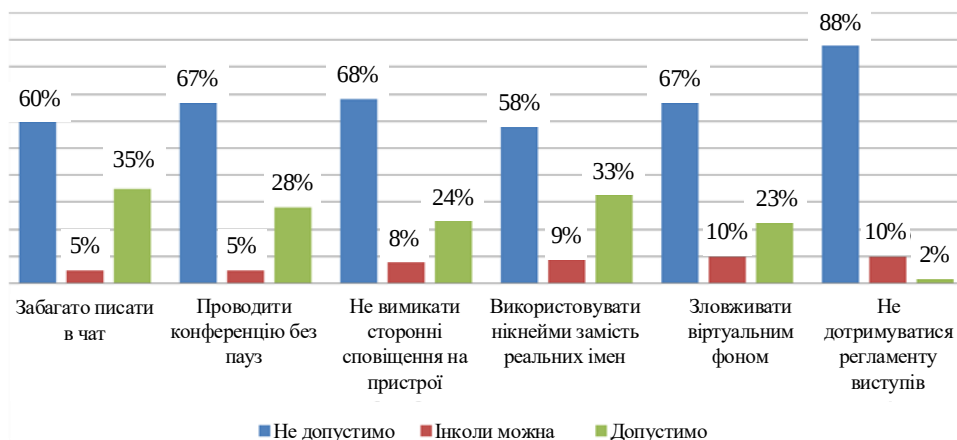


Рис. 2. Недопустимі дії під час проведення онлайн-івентів, створено авторами

Висновки

У ході теоретико-практичного дослідження виявлено, що онлайн-події на сьогодні є затребуваним маркетинговим інструментом піару. Набуло подальшого розвитку поняття «маркетинговий онлайн-захід» як вид івенту, що проводиться в онлайн-форматі з використанням різноманітних інформаційно-технічних засобів і креативних рішень у сценаріях, які спрямовуються на максимальне залучення цільової аудиторії з метою презентації товару (послуг) інтернет-відвідувачам.

Визначено тренди організації онлайн-івентів: попередня реєстрація учасників, що надає право безкоштовної участі; підрядність формату проведення івентів; ефект присутності; сканування 3D-форми осіб для безконтактною реєстрації на фізичних івентах; розвиток інноваційних технологій та інвестування в створення віртуальних студій і онлайн-майданчиків для можливої участі великої кількості людей.

Запропоновано організаційну модель проведення онлайн-івентів, в якій значну увагу приділено етапу «Розроблення і затвердження сценарію онлайн-заходу з урахуванням вимог цільової аудиторії» та залученню цільової онлайн-аудиторії через низку основних підходів: створення цікавого сценарію для прямого онлайн-ефіру, залучення спікерів, використання унікальних стилістично і графічно створених презентацій з анімацією, застосування нестандартних технічних рішень з використанням програмного забезпечення Zoom, GoogleMeet або власних розроблених платформ, віртуальних кімнат для спілкування учасників, впровадження квізів для активізації учасників івентів.

У ході дослідження виявлено негативні моменти під час проведення онлайн-івентів, яких слід уникати для успішної реалізації заходу: недопустимо не дотримуватися регламенту виступів, писати багато інформації в чаті, проводити онлайн-івенти без пауз, використовувати нікнейми замість реальних імен, не вимикати сторонні сповіщення на пристроях.

Подальші наукові дослідження будуть спрямовані на вирішення питання використання інструментів цифрового маркетингу для організації та проведення маркетингових івентів.

Література

- Афенченко, В. Г., Шумлянська, Н. В. (2017). *Івент-маркетинг: генерування смислів*. Матеріали II Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції «Модернізація економіки в умовах зростання суспільної свідомості: туризм, людиномірність, партнерство, кооператція». Полтава, ПУЕТ.
- Буднікевич, І. М., Гавриш, І. І., Крупенна, І. А. (2018). Event-маркетинг в програмах просування привабливості індустрії гостинного регіону. *Збірник наукових праць Черкаського ДГУ*, 48. DOI: <https://doi.org/10.24025/2306-4420.048.2018.127360>.
- Таха, М. Д., Ляшенко, О. (2022). Вплив пандемії Covid-19 та війни Росії проти України на якість життя в контексті загроз глобальній продовольчій безпеці. *Вчені записки Університету «КРОК»*, 2(66), 53—62. <https://doi.org/10.31732/2663-2209-2022-66-53-62>.
- Куриленко, В. (2020). Куди прямують івенти: 8 актуальних трендів. Взято з: <https://cutt.ly/p1earsI>.
- Мисик, В. М. (2020). Чинники побудови і розвитку івент-менеджменту. *Інтелект XXI*, 3, 44—48. DOI: <https://doi.org/10.32782/2415-8801/2020-3.9>.
- Мунтян, І. В., Князева, О. В., Значек, Р. Р. (2021). Event-маркетинг в системі маркетингових комунікацій України. *Економіка та суспільство*, 28. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2021-28-52>.
- Пічик, К. (2016). Івент-маркетинг як сучасний інструмент впливу на споживача. *Наукові записки НаУКМА*, 1(1), 145—148. <https://doi.org/10.18523/2519-4739112016124813>.
- Повалій, Т. Л., Світайло, Н. Д. (2021). *Івент-менеджмент: навчальний посібник*. Суми: Сумський державний університет.
- Слепцова, А. (2020). Інструменти для онлайн-конференцій. Взято з: <https://cutt.ly/p1eeRkv>.
- Coles, T., Garcia, G., O'Malley, E., Turney, C. (2022). Experiencing Event Management During the Coronavirus Pandemic: A Public Sector Perspective. *Frontiers in Sports and Active Living*. <https://doi.org/10.3389/fspor.2021.814146>.
- Happy Monday (2020). Вхід за лінком: 24 інструменти, щоб організувати онлайн-івент. Взято з: <https://cutt.ly/l1erc1K>.
- Kenneth, K. Backman. (2018). Event management research: The focus today and in the future. *Tourism Management Perspectives*, 25, 169—171. <https://doi.org/10.1016/j.tmp.2017.12.004>.
- Moise, D. Georgescu, B., Zgura, D. (2012). The Use of Event Marketing Management Strategies. *Procedia — Social and Behavioral Sciences*, 46, 5409—5413. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.06.448>.
- Novikova, V., Bondar, N., Sharan, L. (2019). Event management in the activity of the hotel and restaurant enterprise. *Modern engineering and innovative technologies*, 10(2), 45—54. DOI: 10.30890/2567-5273.2019-10-02-037.
- Reshef, O., Aharonovich, I., Armani, A. M., Gigan, S., Grange, R., Kats, M., Sapienza, R. (2020). How to organize an online conference? *Nature Reviews Materials*, 5, 253—256.
- Sun, L., Zhai, X. and Yang H. (2022). Event marketing, movie consumers' willingness and box office revenue. *Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics*, 33 (2), 622—646. <https://doi.org/10.1108/APJML-09-2019-0564>.
- Thomas, K., & Stephens, S. (2022). Understanding the Management Theory in Event Management: A Conceptual Framework. Взято з: <https://ssrn.com/abstract=4051469> (last accessed: 30.11.2022). <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4051469>.
- Werner, K., Jun, O., Wang, Ch. (2022). Event Management Skills in the Post-covid-19 World: Insights from China, Germany, and Australia. *Event Management*, 26(4), 867—882. <https://doi.org/10.3727/152599521X16288665119558>.

CURRENT STATE AND PROSPECTIVE DEVELOPMENT DIRECTIONS OF THE DOMESTIC MARKET OF OIL AND OIL FAT PRODUCTS: A QUALITATIVE ASPECT

V. Strashynskyi, O. Sheremet, L. Strashynska

National University of Food Technologies

Key words:

*Oil market
Production profitability of
oil crops
Refined and unrefined oil
Deep processing products
Quality and safety of food
products
Domestic market
International standards
ISO 22000*

Article history:

Received 13.01.2023
Received in revised form
27.01.2023
Accepted 15.02.2023

Corresponding author:

L. Strashynska
E-mail:
vip1967@ukr.net

ABSTRACT

The main results of the enterprises activities of the domestic oil and fat industry in 2020—2021 are shown in the articles. The profitability indicators of the production of oil crops of agricultural enterprises and farms of Ukraine by regions in 2020, the sown area under soybeans and sunflowers by regions of Ukraine for the 2021 harvest are studied, as well as the export of oilseeds in 2020/2021 compared to the 2019/2020 marketing year. It was emphasized that oilseed crops in Ukraine are traditionally the most profitable of all plant products, which is due to their high liquidity and demand from both exporters and the processing sector. export of vegetable oil and protein grist from Ukraine during the specified period was investigated, and the main reasons for changes were determined.

The production of oil and fat products in Ukraine in 2020—2021 was analyzed, the the supply/demand balances of sunflower seeds and vegetable oil, the main trends in the functioning of the relevant market were determined and the priorities of future development were substantiated.

The price policy of industry enterprises and the reasons for the increase in the price of oil were studied. The processing capacities of the main types of oil crops, oil and deep processing products were evaluated, and the leaders of the respective markets were determined.

It was emphasized that the further market development of oil and oil-fat products of Ukraine will take place in the direction of improving the quality of manufactured products in terms of their safety and expanding exports. This is due to the further application of international standards at the enterprises of the industry and their timely reaction to changes in the regulatory and legal framework. New changes in FSSC 22000 scheme (version 5.1) are highlighted.

СУЧАСНИЙ СТАН І ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМИ РОЗВИТКУ ВІТЧИЗНЯНОГО РИНКУ ОЛІЇ ТА ОЛІЙНО-ЖИРОВОЇ ПРОДУКЦІЇ: ЯКІСНИЙ АСПЕКТ

В. І. Страшинський, О. О. Шеремет, Л. В. Страшинська

Національний університет харчових технологій

У статті розглянуто основні результати діяльності підприємств вітчизняної олійно-жирової галузі у 2020—2021 роках. Досліджено показники рентабельності виробництва олійних культур у сільськогосподарських підприємствах і фермерських господарствах України за регіонами у 2020 р., посівні площі під соєю і соняшником за регіонами України під врожай 2021 р., а також експорт насіння олійних культур 2020/2021 порівняно з 2019/2020 маркетинговим роком. Наголошено, що олійні культури в Україні традиційно є найбільш рентабельними з усієї продукції рослинництва, що обумовлено їх високою ліквідністю і попитом як з боку експортерів, так і переробного сектору.

Проаналізовано виробництво олійно-жирової продукції в Україні у 2020—2021 рр., досліджено експорт рослинної олії та протеїнових шротів з України протягом зазначеного періоду і визначено основні причини змін. На основі балансів попиту/пропозиції насіння соняшнику та рослинної олії визначено основні тенденції функціонування відповідного ринку й обґрунтовано пріоритети перспективного розвитку.

Досліджено цінову політику підприємств галузі та причини подорожчання олії. Оцінено потужності з переробки основних видів олійних культур, олії та продуктів глибокої переробки, а також визначено лідерів відповідних ринків.

Наголошено, що подальший розвиток ринку олії та олійно-жирової продукції України буде відбуватися в напрямку підвищення якості вироблюваної продукції в аспекті її безпеки та розширення експорту. Це пов'язано з подальшим застосуванням міжнародних стандартів на підприємствах галузі та своєчасною їх реакцією на зміни в нормативно-правовій базі. Наголошено на нових змінах в схемі FSSC 22000 (версія 5.1).

Ключові слова: ринок олії, рентабельність виробництва олійних культур, рафінована та нерафінована олія, продукти глибокої переробки, якість і безпека харчової продукції, внутрішній ринок, міжнародні стандарти ISO 22000.

Formulation of the problem. The oil market is particularly important for Ukraine, since its effective functioning is of primary importance for ensuring the country's food and energy security, on the one hand, and the economic component, on the other hand, due to the fact that Ukraine is one of the largest players today on the world market of vegetable oil and occupies a leading position in the volume of exports of oil crops. Therefore, the modern development of the oil market requires finding ways for further functioning in connection with the situation in Ukraine, taking into account the modern

realities of today, as well as increasing the level of provision of oil raw materials for the annually growing needs of processing enterprises. In this regard, the analysis of trends in the current state of the market and the determination of prospects for its development become especially relevant.

The development of the oilseed market also directly affects agricultural production and is one of the most important economic and food components of the agro-industrial complex in Ukraine. Unfortunately, the economic situation in Ukraine has a negative impact on the agrarian sector of the economy. This led to changes in the structure of manufactured products and changed the vectors of agricultural production.

Analysis of recent research and publications. In recent years, a number of domestic scientists have devoted their scientific assets to researching the markets of oilseed crops, oil and products of its deep processing. In particular, such Ukrainian economists as I. Chekhova, V. Tymchenko and A. Pylypchenko, V. Tsikhanovska studied the problems of the formation and development of the domestic market of oilseed crops in general, as well as the state and prospects for the development of soybean production in Ukraine. It was established that the structure of the acreage of the main oil crops is undergoing changes, namely, the amount of sunflower acreage remains unchanged, the area under rapeseed is reduced in favor of areas under soybeans. Sunflower oil is the main vegetable oil market in Ukraine, an important raw material for many sectors of the food industry, and occupies the first positions in the export structure. The development of the sunflower market in Ukraine is possible due to the cultivation of high-oleic crops, the demand for which will constantly grow in the world. To revive the market of oil crops, it is also necessary to develop the production of oil from "niche" crops, in particular mustard, flax, hemp, pumpkin, sesame (Тимченко, & Пилипченко, 2012; Ціхановська, 2016; Чехова, & Чехов, 2020). The current state, the main trends in the production and export of sunflower oil were reflected in the works of Y. Barsuk, O. Kucherenko and M. Talavryi. The analysis of the conducted research demonstrates that the oil and fat industry of Ukraine is one of the leading processing industries of the domestic economy, which even in conditions of global financial instability and economic crisis shows significant growth production and export of products (Барсук, 2017; Кучеренко, 2015). Modern sunflower oil exports will be affected by the following factors: instability of production at Argentine enterprises, imperfect price-setting competition in India, war with Russia, raising the price on the domestic market in Ukraine in connection with the increase of fuel prices. The listed factors will have negative consequences for Ukraine through the rise in the price of sunflower oil. In the formation of macroeconomic equilibrium, from the point of view of demand and proposals, the "sunflower oil index" indicator will have a significant impact, which characterizes the well-being and food security of Ukrainians (Талавиря, 2022). The marketing potential of innovations in the oil-fat subcomplex and the features of competition at the sunflower oil market are considered in the works of V. Lutsyak, T. Duranova and M. Katran. The results of market studies of sunflower oil showed that the market has signs of an oligopoly, moderately concentrated. Therefore, the domestic market of sunflower oil needs a comprehensive study in order to improve its structure and ensure state protection of competition in business activities (Дуранова, 2013; Катран, 2018; Луцяк, 2020). Research of I. Sarafonova was devoted to the formation of a mechanism for regulating the activities of enterprises on the market of oil and fat products (Сарафонова,

2018). However, the dynamic development of the oil market and the radical change of external factors associated with the instability of the situation in the country require the justification of further priorities for the functioning of the market of oil and oil-fat products in view of the existing realities of today.

The purpose of the study: to disclose the main results of the activities of enterprises of the domestic oil and fat industry and to characterize the general trends of the oil market as a whole and to justify the prospective directions of its development in view of the changes in the military-political, socio-economic and financial situation in the country, which have advantages in the long-term perspective.

Materials and methods. The purpose of the research in the article was achieved by using a number of methods of scientific research. According to the classification of scientific research methods by the level of methodological analysis, the following methods of general scientific level are used in the article: analytical-synthetic, systemic-structural, logical, factorial. Considering concrete scientific methodology, typological methods (descriptive, normative, structural) were used in the article. Based on the generally accepted classification of scientific research methods, which are divided into general scientific and specific scientific (empirical), the following general scientific research methods are used in the article: analysis and synthesis, induction and deduction — in the assessment of sown areas under soybean and sunflower by regions and Ukraine as a whole; system analysis — when developing the supply/demand balance of sunflower seeds and vegetable oil; ranking — when determining the rating of the main producers of oil (refined and unrefined) and oil and fat products; generalization — when developing directions for the use of new international standards by enterprises of the industry; systematization — when calculating the export of oilseeds, vegetable oil and protein meal from Ukraine; argumentation — when substantiating the evidence and persuasiveness of the conclusions. Among the empirical methods of research, the following are used in the article: measurement — when determining indicators of the profitability of the production of oil crops of agricultural enterprises in general and farms; comparison — in the evaluation of processing capacities of the main types of oil crops and oil, as well as the evaluation of the production of oil and fat products in Ukraine and the price situation in the industry.

Presentation of the main results of the study. In 2020/2021 marketing year (MY), the total production of the main types of oilseeds amounted to 18.466 million tons, including sunflower seeds — 13.111 million tons, soy — 2.798 million tons, rapeseed — 2.557 million tons.

Oil crops in Ukraine are traditionally the most profitable of all plant products, which is due to their high liquidity and demand from both exporters and the processing sector. (Сумець, 2014). After a long period of declining profitability, which began in 2016, positive dynamics resumed in 2020. Compared to the previous year, the profitability of sunflower seed production increased by 1.7 times, soy — by 2.3 times, rapeseed — by 1.8 times. (Чехова, Чехов, 2020).

The profitability of the production of oil crops in Ukraine by region in 2020 is presented in the table 1.

According to the State Statistics Service of Ukraine, in 2020, the profitability of sunflower production was the highest among other major types of oil crops, reaching 39.4% in agricultural enterprises, and 37.3% in farms. The profitability of sunflower seed

production reached the highest level for the period of 2008—2020 in 2015 (80.5%) and in 2016 (63.0%). Regionally, the highest profitability of sunflower seed production in 2020 was demonstrated by Zhytomyr, Zaporizhzhya, Sumy, Rivne, and Chernihiv regions.

Table 1. Production profitability of oil crops in agricultural enterprises and farms in Ukraine by regions in 2020

Region	Soy		Rape (spring and winter)		Sunflower seeds	
	agricultural enterprises	farms	agricultural enterprises	farms	agricultural enterprises	farms
Ukraine	30.2	33.5	17.2	23.9	39.4	37.3
Vinnitsya	5.0	23.4	21.7	16.3	35.9	35.2
Volyn	49.8	36.2	26.2	27.2	43.2	30.8
Dnipropetrovsk	17.9	19.8	38.7	47.7	35.5	38.3
Donetsk	×	×	37.9	41.5	43.2	42.6
Zhytomyr	29.0	47.1	13.9	16.2	50.4	58.3
Zakarpattia	62.1	118.0	×	×	25.6	61.2
Zaporizhzhya	44.3	72.4	23.6	27.5	53.8	49.7
Ivano-Frankivsk	26.3	34.4	0	31.9	9.0	33.3
Kyiv	18.2	24.0	6.9	6.9	38.6	29.7
Kirovohrad	11.2	19.7	19.1	20.3	33.8	29.6
Luhansk	×	×	35.3	34.1	39.1	36.3
Lviv	36.2	43.5	9.9	27.7	25.9	23.0
Mykolayiv	25.0	28.2	20.5	24.9	32.2	31.0
Odesa	3.2	×	16.4	17.4	19.9	16.9
Poltava	26.9	31.2	30.4	31.6	35.1	45.7
Rivne	34.3	35.6	10.5	23.9	47.7	54.9
Sumy	48.1	41.4	38.6	37.3	49.7	66.6
Ternopyl	33.6	31.2	17.8	16.0	45.8	46.7
Kharkiv	32.8	42.6	24.0	21.1	44.5	40.6
Kherson	21.6	34.1	24.5	32.3	29.6	28.4
Khmelnyskiy	41.7	35.0	14.9	23.9	44.9	33.5
Cherkasy	10.8	13.4	17.6	7.0	49.2	35.6
Chernivtsi	33.6	48.1	18.3	52.6	35.5	46.0
Chernihiv	39.8	53.9	20.2	34.8	47.2	52.5
Kyivcity	43.5	×	×	×	20.6	31.3

Note: calculated by the authors based on the State Statistics Service of Ukraine.

In 2020, profitability in agricultural enterprises processing soybeans also increased significantly compared to 2019, amounting to 30.2%, in farms — 33.5%. The maximum rate was observed in 2016 (52%). The analysis of the profitability of soybeans by regions of Ukraine showed the highest profitability in 2020 in Zakarpattia, Zaporizhzhya, Sumy and Chernihiv regions.

The profitability of rape production in 2020 in agricultural enterprises increased compared to 2019 to 17.2%, in farms — 23.9%. The minimum level since 2008 was observed in 2013 (8.6%), and the maximum — in 2008 (51.3%). Dnipropetrovsk, Do-

netsk, Sumy, and Chernivtsi regions stood out among the leading regions in terms of rape profitability in 2020.

The production of rape (856.2 UAH/cwt) and soybeans (759.9 UAH/cwt) was the most expensive among the mentioned oil crops in 2020, while the production of sunflower (710.0 UAH/cwt) was the least expensive.

In the second half of June 2021, sunflower and soybean sowing was completed in Ukraine. According to operational data of the Ministry of Agrarian Policy of Ukraine, as of June 24, 2021, sunflower and soybean sowing in Ukraine was completed. On the specified date, 6479.72 thousand hectares were sown under sunflower, which is 1% higher than the predicted value, as well as 1391.89 thousand hectares under soybeans (99% of the predicted value) (Економічні показники роботи масложирового комплексу України в серпні-червні 2020/21МГ, 2021).

In terms of regions of Ukraine, the largest areas under sunflower are occupied in Dnipropetrovsk, Kirovohrad, Kharkiv and Zaporizhia regions, and under soybeans — in Khmelnytskyi, Zhytomyr and Poltava regions.

Sown areas under the main oil crops in a section of the regions of Ukraine are presented in the table 2.

Table 2. Areas sown under soybeans and sunflowers by regions in Ukraine for the 2021 harvest, as of June 24, 2021

Region	Sunflower seeds, thousand ha			Soy, thousand ha		
	2020	2021	% 2020/2021	2020	2021	% 2020/2021
Vinnitsya	288.6	305.4	105.8	101.6	109.3	107.6
Volyn	39.7	41.0	103.3	34.8	36.0	103.4
Dnipropetrovsk	617.8	601.0	97.3	2.8	3.0	107.1
Donetsk	331.1	347.6	105.0	0.0	0.5	100.5
Zhytomyr	138.2	147.6	106.8	118.0	133.4	113.1
Zakarpattia	2.8	2.9	103.6	13.2	11.2	84.8
Zaporizhzhya	524.6	530.9	101.2	10.2	9.7	95.1
Ivano-Frankivsk	23.3	26.8	115.0	38.3	34.2	89.3
Kyiv	183.8	197.4	107.4	94.9	104.1	109.7
Kirovohrad	596.9	576.1	96.5	74.2	70.8	95.4
Luhansk	389.6	451.4	115.9	0.0	0.0	—
Lviv	30.2	35.0	115.9	76.9	85.0	110.5
Mykolayiv	507.1	490.0	96.6	6.3	6.0	95.2
Odesa	353.1	425.0	120.4	5.8	5.2	89.7
Poltava	381.8	384.0	100.6	129.4	120.4	93.0
Rivne	35.8	42.0	117.3	66.4	67.0	100.9
Sumy	278.2	289.2	104.0	70.4	73.0	103.7
Ternopol	88.6	86.5	97.6	72.9	80.9	111.0
Kharkiv	596.9	543.7	91.1	20.7	20.9	101.0
Kherson	331.2	325.0	98.1	72.2	75.0	103.9
Khmelnytskyi	164.7	180.0	109.3	132.5	150.0	113.2
Cherkasy	218.9	205.0	93.7	75.4	84.5	112.1
Chernivtsi	19.3	21.4	110.9	56.1	59.8	106.6
Chernihiv	239.1	224.9	94.1	49.6	52.0	104.8
Total	6381.3	6479.7	101.5	1322.6	1391.9	105.2

Note: calculated by the authors based on the data of the Ministry of Agrarian Policy of Ukraine.

As evidenced by the data in the table 2 in 2021, compared to 2020, the cultivated area under sunflower increased by 1.5%. With the exception of some regions, the area planted under sunflower increased almost in all regions. The greatest increase in area was observed in Luhansk (+15.9%), Lviv (+15.9%), Odesa (+20.4%) and Rivne (+17.3%) regions. The largest decrease in sunflower area was observed in Kharkiv (–8.9%), Cherkasy (–6.3%) and Chernihiv (–5.9%) regions.

In 2021, compared to 2020, the sown area under soybeans also increased by 5.2% in Ukraine as a whole. The largest increase in cultivated area was observed in Zhytomyr (+13.1%), Khmelnytskyi (+13.2%) and Cherkasy (+12.1%) regions. The area under soybeans decreased the most during the specified period in Zakarpattia (–15.2%), Ivano-Frankivsk (–10.7%) and Odesa (–10.3%) regions.

A feature of the 2020/2021 MY is the lowest level of transitional stocks of all oil crops in recent seasons. According to the State Statistics Service of Ukraine, at the beginning of the season, the stocks of sunflower seeds were the lowest in the last three seasons and were almost twice smaller compared to the beginning of the previous 2019/2020 MY — 809.7 thousand tons compared to 1524.0 thousand tons.

As of July 1, 2021, there were totally 943.8 thousand tons of sunflower seeds (1.5 times less than in the same period of the previous year), including 559.2 thousand tons in agricultural enterprises, and 384.6 thousand tons in enterprises, which are engaged in processing and storage.

At the same time, the comparability of volumes in agricultural enterprises and processors confirms that since the beginning of the season, in conditions of dynamic price growth, agricultural producers have kept the available volumes of sunflower, expecting further price increases, which led to a reduction in processing volumes and the full or partial suspension of a number of powerful processing enterprises. (Ціхановська, 2016).

Soybean stocks in Ukraine at the beginning of the 2020/21 MY were also minimal in the last few years and more than 2 times less compared to the beginning of the previous season. As of July 1, 2021, they amounted to 302.9 thousand tons, which is slightly lower than last year's amount of 338.4 thousand tons, including in agricultural enterprises — 183.8 thousand tons, in processing enterprises — 119.1 thousand tons. Agribusinesses, judging by stocks that exceeded 1.5 times the volumes available to processors, also held soybeans in anticipation of higher prices on the domestic market.

Rape stocks, which at the beginning of the 2020/21 MY were more than 3 times lower than last year, by the time of its end as of July 1, 2021, were practically exhausted due to active export of 46,000 tons, and were mainly stored only in agricultural enterprises (42.1 thousand tons), were practically absent at processing enterprises (3.9 thousand tons), since processing was impractical for factories due to completed export contracts.

According to the data of the State Statistics Service of Ukraine as of July 1, 2021, from the beginning of the 2020/21 MY, 4,019.9 thousand tons were exported from Ukraine to foreign markets, including sunflower — 0.189 million tons, soybeans — 1.433 million tons, rape — 2.398 million tons.

The export of oilseeds is presented in table 3.

The specific weight of the main types of oilseeds in the total export from Ukraine was: sunflower seeds — 4.7%, soybeans — 35.6%, rape — 59.7%. It should be noted

that in the 2020/21 MY, the export of soybeans decreased by almost 2 times compared to the previous season. One of the features of the 2020/21 MY is the rapid increase in the export of sunflower seeds of the 2020 harvest from Ukraine at the beginning of the season. In September-June 2020/21 MY, 193.3 thousand tons of it were exported from Ukraine, which shows an increase 23.1 times compared to the corresponding period of 2019/20 MY. The situation, when such a volume of sunflower seeds was exported abroad in the first months of the marketing year, happened for the first time.

Table 3. Export of oilseeds 2020/2021 compared to 2019/2020, as of July 1, 2021

Name	2019/2020 MY			2020/2021 MY		
	thousand tons	total amount, \$ million	average price, \$/ton	thousand tons	total amount, \$ million	average price, \$/ton
Sunflower seeds	47.5	20.4	429.8	189.0	68.2	360.0
Soybeans	2623.8	860.7	328.0	1432.6	661.7	462.0
Rape	2996.0	1213.2	405.0	2397.8	1016.0	423.7
Total	5667.3	2094.3	369.2	4019.9	1745.9	434.3

Note: calculated by the authors based on the State Statistics Service of Ukraine.

The main importers of Ukrainian sunflower were EU countries, where 64.9% were shipped (including Bulgaria — 55.1% and Turkey — 31%). Soy was exported mainly to the EU (26.7% of the total volume), Turkey (39.2%), Belarus (18.5%), Egypt (7.5%). The EU countries were also the main market for rape (94.6%).

According to the State Statistics Service data, from the beginning of the 2020/21 MY as of June 1, 2021, 11.865 million tons of oil crops (64.2% of the gross harvest) were processed into oil in Ukraine, including sunflower — 10.8 million tons (82.4% of the gross harvest), soybeans — 0.820 million tons (29.3% of the gross harvest), rape — 0.245 million tons (9.6% of the gross harvest). In the volumes of total processing, the specific weight of sunflower seeds was more than 91%, the lowest volumes of processing were observed for rape.

The dynamics of production and stocks of vegetable oil shows that for the second year in a row the beginning of the season was characterized by the lowest transitional stocks of vegetable oils, as well as raw materials for their production. However, by the end of June 2021, the volumes of stocks of produced unrefined sunflower oil in the warehouses of manufacturing enterprises significantly exceeded the previous indicator for the same date (126.33 thousand tons compared to 94.27 thousand tons — 1.3 times more) with a significant reductions in production (242.89 thousand tons compared to 465.2 thousand tons — almost 2 times less). Soybean oil stocks at the end of June 2021 amounted to 16.6 thousand tons compared to 11.88 thousand tons in June 2020, and production volumes for the specified period amounted to 21.4 thousand tons and 23.14 thousand tons, respectively.

The production of the main types of oil and fat products in Ukraine during 2020—2021 is presented in the table 4.

As evidenced by the indicators given in the table 4, in the 2020/2021 MY, a decrease in the production of all types of oil and fat products, especially soybean and rape processing products, as well as margarine, is observed. This was due to the active ex-

port of oilseeds and high prices for them, as a result of which most of the powerful plants partially or completely suspended processing.

Table 4. Production of oil and fat products in Ukraine in 2020–2021, thousand tons

Product name	January—June			September—June (for rape: July—June)		
	2021	2020	Deviation from 2021 to 2020, %	2020 /2021 MY	2019/2020 MY	Deviation from 2020/2021 to 2019/2020, %
Unrefined sunflower oil	2304.9	3214.6	71.7	450.1	5488.1	82.0
Unrefined soybean oil	116.2	149.4	77.8	176.7	244.6	72.2
Unrefined rape oil	—	18.1	—	16.2	16.5	66.2
Refined sunflower oil	338.5	492.0	68.8	643.7	790.0	81.5
Soybean grist	505.9	616.2	82.1	777.8	992.3	78.4
Sunflower grist	2416.1	3062.1	78.9	4598.9	5191.9	88.6
Margarine products	487.9	592.7	82.3	133.9	206.6	64.8
Sauces and mayonnaise	73.0	74.6	97.9	133.3	133.6	99.8

Note: calculated by the authors based on the State Statistics Service of Ukraine.

The production of refined sunflower oil decreased by 21.6% in the reporting period of 2020/2021 of the MY compared to the same period of the previous season (September—June), and by 30.2% according to the results of the II half of 2021.

At the same time, the stocks of the specified products in the warehouses of manufacturing enterprises exceeded last year's amount by 1.6 times (21.3 thousand tons compared to 13.43 thousand tons) and are 2.3 times higher than the initial stocks of the 2020/2021 MY season (21.02 thousand tons compared to 9.32 thousand tons).

This situation is associated with a reduction in the volume of sales of products on the domestic market, mainly due to sales in trade networks, due to high prices during the season. For the same reason, for the first time in the last 5 years (2017—2022), vegetable oil stocks at wholesale trade enterprises amounted to about 1.5 times more than average seasonal indicators.

The production of protein grist (sunflower, soybean) for the period 2020—2021 decreased proportionally to the volume of processing of oilseeds.

As for products of deep processing of vegetable oil (margarine, mayonnaise), the production of which is traditionally seasonal, the production of mayonnaise was practically comparable to the production of the previous year, and the production of margarine products decreased by 40.2%, which was associated with a decrease in consumption both on the domestic market and by reducing exports. This situation was a consequence of the rise in prices for the finished product.

The export of vegetable oil from Ukraine during 2020—2021 is presented in the table 5.

Indicators of export of vegetable oil from Ukraine from the beginning of the 2020/2021 MY to June inclusive, were observed to be 19% lower than in the previous corresponding period. Totally 5045.7 thousand tons of vegetable oil was exported. Per-

centage of export of sunflower oil showed the smallest decrease (—17.6%), rape oil was delivered to foreign markets almost twice more than in the same period last season, and soybean exports decreased by 31%.

Table 5. Export of vegetable oil from Ukraine during 2020—2021, as of July 1, 2021

Product name	January—June			September—June (for rape: July—June)		
	2021	2020	Deviation from 2021 to 2020, %	2020 /2021 MY	2019/2020 MY	Deviation from 2020/2021 to 2019/2020, %
Unrefined sunflower oil	2562.8	3760.6	68.1	4746.1	5763.3	82.4
Soybean oil is unrefined	120.7	175.5	68.8	194.9	283.0	68.9
Unrefined rapeseed oil (MY: July—June)	1.1	35.5	3.1	104.7	183.7	57.0
Total	2684.6	3971.6	67.6	5045.7	6230.0	81.0

Note: calculated by the authors based on the State Statistics Service of Ukraine.

During 2020/2021, sunflower oil was shipped to more than 130 countries of the world, and the main importers were India (31.3% of the total volume of exports) and China (21.4%), the total share of which in the total volume of Ukrainian exports reached 52.7%. A significant part of sunflower oil (25.6%) was exported to the EU, the main importers of which were the Netherlands (10.2%), Spain (5.5%), Italy (4.1%).

The export of protein grist from Ukraine in 2020-2021 is presented in the table 6.

Table 6. Export of protein grist from Ukraine in 2020-2021, as of July 1, 2021

Product name	January—June			September—June (for rape: July—June)		
	2021	2020	deviation from 2021 to 2020, %	2020/21 MY	2019/2020 MY	deviation from 2020/2021 MY to 2019/2020 MY, %
Soybean grist	247.8	335.5	73.8	436.2	620.7	70.3
Sunflower grist	2302.0	3036.5	75.8	4046.3	4669.6	86.7
Total	2549.8	3372.0	75.6	4482.5	5290.3	84.7

Note: calculated by the authors based on the State Statistics Service of Ukraine.

In September—June 2020/21 MY, Ukraine exported 4,482.5 thousand tons of protein grist (table 6), which is 15.3% lower than for the same period of the previous year. The export of sunflower grist decreased by 13.3%, and soybean grist — by 29.7%. The main importer of Ukrainian sunflower grist is China, whose share in the total volume of exports was 44.1%, as well as EU countries (31.4%). Among the largest importing countries of the European Union are France (11.0%), Poland (8.0%), Italy (3.9%), the Netherlands (3.3%), Spain (3.0%). Turkey (7.4%), Morocco (4.3%) and Belarus (4.2%) also entered the TOP-10 largest buyers. During September-June 2020/2021, Belarus reduced the import of Ukrainian sunflower grist by 42% compared to the same indicator of the previous season. This situation is due to the fact that during the reporting period, Belarusian buyers preferred cheaper Russian products, the purchase of which ultimately significantly reduced the volume of Ukrainian grist. During the specified period of 2020/2021 of the MY, deliveries of Russian sunflower grist to Belarus increa-

sed by 16% compared to the same period of the 2019/2020 MY. As a result, the share of Russian products in the Belarusian market increased to 57% compared to 40% in the previous similar season. Accordingly, the share of Ukrainian grist was 43% compared to 60% in the previous season. Thus, for the first time, sunflower grist of russian origin dominates the belarusian market.

Soybean grist was supplied mainly to Poland and Belarus (about 60% in total).

Demand/supply balances of oilseeds and vegetable oil (without taking into account the temporarily occupied territories of the Republic of Crimea, the city of Sevastopol and the Donetsk and Luhansk regions), according to expert assessments of the Ministry of Economy, the State Committee of Statistics, the State Customs Service and the association "Ukroliyprom" as of September—June 2020/2021 of the Ministry of Economy are presented in the table 7 and table 8.

Table 7. Balance of demand/supply of sunflower seeds in September—June 2020/2021 MY, thousand tons

	2020/2021 MY (predicted)	September—June 2020/2021 MY (fact)	2021/2022 MY (predicted)
Product offer	13976	13944	16527
Internal market — everything, including:	13946	13920	16500
production	13136	13110	15100
inventories at the beginning of the period	810	810	1400
foreign market (import)	30	24	27
Demand for products	13976	13944	16527
Internal market — everything, including:	13570	12220	15560
processing	13150	11800	15000
other consumption, including:	420	420	560
feeds and losses	350	350	480
seed	70	70	80
foreign market (export)	250	189	150
Inventory at the end of the period	156	1535	817

Note: calculated by the authors on the basis of expert assessments of the Ministry of Economy, the State Committee of Statistics, the State Customs Service and the association "Ukroliyprom".

The production of sunflower seeds in the 2021/2022 is expected to exceed the indicators of the 2020/2021 MY and will amount to 15.1 million tons compared to 13.1 million tons, and transitional stocks will be sufficiently high.

Therefore, the production and export of sunflower oil is expected to increase. 2020/2021 MY, which began in Ukraine in September, demonstrated an uncharacteristic sharp increase in the prices of oilseeds and, accordingly, processed products, which continued until the end of March. Thus, for the period from the beginning of the MY to March, according to the State Statistics Service, the average sale prices of sunflower seeds by agricultural enterprises of Ukraine (without VAT, transport, shipping and overhead costs) reached their maximum in March, having increased by 2 times during

this period (from 10,041.1 UAH/ton to 20,868.6 UAH /ton). Prices for rape continued to rise until the end of the season and reached a maximum in June (15,916.4 UAH/ton), increasing by 1.5 times. The price for soybeans increased by 1.5 times by May (from 10,613.9 UAH/ton to 17,765.2 UAH /ton). After the specified periods, prices began to decrease.

Table 8. Balance of demand/supply of vegetable oil in September—June 2020/2021 MY, thousand tons

	2020/2021 MY (predicted)	September—June 2020/2021 MY (fact)	2021/2022 MY (predicted)
Product offer	6328	5534	7518
Internal market — everything, including:	6108	5316	7298
Own production of oil, including:	6248	5505	7298
sunflower	5920	5200	6750
rape	100	120	230
soybean	220	177	310
other	8	8	8
Stock change	—140	-189	—
Foreign market (import)	220	218	220
Demand for products	6328	5534	7518
Internal market — everything, including:	570	480	540
consumption fund	540	450	540
sunflower oil from it	400	340	400
other consumption	30	30	—
Foreign market (export)	5758	5054	6978
sunflower oil from it	5380	4747	6350
Consumption per capita, kg per year	12.9	12.9	12.9

Note: Calculated by the authors on the basis of expert assessments of the Ministry of Economy, the State Committee of Statistics, the State Customs Service and the association "Ukroliyprom".

Selling prices of unrefined and refined sunflower oil increased from the beginning of the season until May, inclusive, after which they began to decrease. Over the specified period, the price of unrefined sunflower oil increased by 1.7 times (from 22,615.47 UAH/ton to 39,082.28 UAH/ton), and refined deodorized oil — by 1.6 times (from 28,950.37 UAH/ton to 45,502.57 UAH/ton). Accordingly, sunflower oil also became more expensive in retail chains — average prices rose from UAH 35.1/l in September to UAH 64.95/l (including VAT) or 1.9 times. The reasons for the increase in the price of oil in 2020-2021 are quite objective — high prices for sunflower due to the reduction of the harvest and the increase in its export at the beginning of the marketing year, the increase in world prices for vegetable oil and, accordingly, the binding of domestic prices for them, taking into account the export orientation of its sales (at least 95%), as well as the constant increase in tariffs for all components of the cost of its production. (Масли́чний сезон 2020/21 — испытание на прочность для производителей подсолнечного масла Украины, 2021).

The processing capacity of the main types of oil crops in Ukraine today is estimated at the level of 24 million tons. The most powerful producers of unrefined sunflower oil are agricultural holdings that unite several enterprises, in particular the company "Kernel" (which includes seven enterprises: Prydniprovskiy, Bandurskiy, Vovchanskiy, Peresichanskiy, Poltavaskiy, Kropyvnytskyi oil extraction plants (OEP) and Ukrainian Black Sea Industry), the specific weight of which in the national production is 26.5%, «BUNGE» (Dnipropetrovsk Oil Extraction Plant and European Transport Stevedoring Company (Mykolaiv Oil Extraction Plant) — 12%, Vioil industrial group (Vinnytsia and Chernivtsi Oil and Fat Combine) — 5.5%, Myronivskiy Hliboproduct Holding (MHP) — 4.3% (Характеристика олійно-жирового комплексу України, 2019).

Refining capacity in Ukraine is estimated at 1123.18 thousand tons per year (3690 tons/day). The most powerful producer of refined oil is "Delta Wilmar Ukraine" LLC, whose specific weight in national refining is 42%. The second-ranked manufacturer is «BUNGE» (PJSC Dnipropetrovsk Oil Extraction Plant). According to the results of September—June 2020/2021 MY, the largest producers of refined sunflower oil were the Dnipropetrovsk Oil Extraction Plant with a share of 19.6% of the national volume of production, Delta Wilmar Ukraine (14%) and Poltava Oil Extraction Plant Kernel Group (12%). In total, these enterprises produced 45.5% of the specified products.

According to the results of September — June 2020/2021 MY, the largest producers of soybean oil in Ukraine were the Katerynopil elevator, which is part of the MHP holding, the Globinsky processing plant (agro-industrial holding "Astarta") and Transpostach, whose combined share in total production was 52.4 %.

The main volume of rape oil production (87.8%) for the specified period was provided by four enterprises: Allseeds Black Sea, Oliyar, Vinnytsia OSCF and Delta Wilmar Ukraine. At the same time, at the end of May 2021, within the framework of the adopted strategic decision regarding the diversification of the raw material base, the Allseeds company imported 64,501 tons of Australian canola for the first time, which had a positive effect on the work of the processing plant and on the turnover of the Pivdenny seaport, which is a strategic Allseeds partner. The Linden Trader vessel arrived at the port on May 1 and completed the shipment on May 15, 2021, the raw materials were processed at the facility and the manufactured products were exported.

Among the producers of margarine products and special fats according to the results of 2020/2021 MY, Zaporizhzhia OFP (TM Shchedro) is the undisputed leader, providing 43.8% of total production. It is inferior to Delta Wilmar (13.5%). In total, these enterprises produced more than 60% of the national volume of production.

The main producers of mayonnaise and sauces, namely: Lviv FP, Volyn-holding (TM "Torchyn"), Viktor and K (TM "Korolivskyismak") and Chumak (TM "Chumak") together produced 61.1% of the total volume of these products in Ukraine. (Показатели качества майонезов и майонезных соусов. Расчет энергетической и пищевой ценности майонезов, 2021).

Further development of the market of oil and oil-fat products of Ukraine will take place in the direction of improving the quality of manufactured products in terms of their safety and expanding exports (Поверляк, 2013). This is due to the further application of international standards at the enterprises of the industry and the improvement of their regulatory and legal framework. Nowadays all enterprises engaged in export activities are guided in their work by the requirements of the international standard ISO

22000 — this standard is the basis for the FSSC 22000 certification scheme. On March 22, 2021, on the official website of the International Organization for Standardization (ISO) there were published new Guidelines for the implementation of ISO 22000:2018. This document contains a large amount of information on the development, implementation and support of a food safety management system (FSMS) in accordance with the requirements of the international standard ISO 22000:2018 "Food safety management systems. Requirements for all organizations in the chain of production and consumption of food products". New Guidelines ISO 22000:2018 "Food safety management systems. The practical guidance, published by ISO in conjunction with the United Nations Industrial Development Organization, provides detailed information to help organizations to implement FSMS in accordance with the requirements of ISO 22000:2018. (Сарафонов, 2018).

Having such a system in place can greatly benefit any food manufacturing organization as it can help to reduce the risk of contamination and harm to the final consumer. However, its implementation is not always a simple task and may require significant costs.

From April 1, 2021, the new version 5.1 of the FSSC 22000 certification scheme came into force. FSSC 22000 (Food Safety System Certification 22000) is a food safety management system certification scheme that includes the ISO 22000 standard, as well as technical industry specifications and additional requirements certification schemes. The scheme is recognized by the Global Food Safety Initiative (GFSI) and is based on ISO 22000, ISO 9001, ISO/TS 22003 standards. (Новые международные стандарты для пищевой промышленности в 2021 г., 2021).

The new version 5.1 of the FSSC 22000 scheme was published in November 2020 and is functioning since April 1, 2021. The main reasons for making changes to the new version of the FSSC 22000 certification scheme were:

- inclusion of requirements for comparative analysis of GFSI version 2020.1;
- strengthening the licensing process and integrity program;
- minor editorial changes or amendments to the requirements of the V5 scheme;
- a process of continuous improvement.

The FSSC 22000 scheme (version 5.1) consists of six parts and supplements. All these documents also contain mandatory requirements of the Scheme. There are also guidance documents on several topics for additional support. A feature of the transition to version 5.1. is that reissuance of certificates is not required, and audits according to version 5.1 are carried out from April 1, 2021.

Major changes in version 5.1. relate to:

- new additional requirements;
- new requirements for "multi-site" certification;
- the duration of the audit;
- food safety culture.

The main changes are presented in Table 9.

However, the implementation of international standards at the enterprises of food industry should be balanced and justified in accordance with today's conditions.

Table 9. Major changes in FSSC 22000, version 5.1

Name of the section	The main changes
Management of services and procurement materials	- requirements for the internal laboratory were added; - the need for a procurement procedure in cases of emergency situations; - the need to control prohibited substances for slaughter animals; - the need to analyze the specifications
Product marking	- conformity of labeling with all applicable legislative and regulatory requirements in the countries of intended sales; - the need to take into account the requirements regarding the presence of allergens; - the need to take into account the individual requirements of consumers
Storage	- the need to organize the inventory circulation system in accordance with the principles of FEFO (First Expire, First Out) and FIFO (First In, First Out); - added new requirements for the time and temperature of cooling or freezing products after slaughter
Hazard control and cross-contamination prevention measures	- the need to develop special requirements in the case of using active materials; - the need to inspect animals during slaughter
Verification of PP (prerequisite programs)	- the need to carry out regular inspections of the object and check the PP (for categories C, D, G, I, K)
Product development	- the need to establish, implement and maintain product design and development procedures for new products and product changes or manufacturing processes to ensure the production of safe and legal products
Health status of personnel	- the need to implement a procedure of guarantees regarding the absence of an adverse effect on the health of personnel on feed production operations (for category D)
Culture of food safety	- the need to introduce a culture of food safety — a new requirement of GFSI. Food safety culture according to GFSI is the shared values, beliefs and norms that influence the way of thinking and behavior regarding food safety within the organization

Note: compiled by the authors based on (Чехова, & Чехов, 2020).

Thus, the Order of the Ministry of Economy "On establishing metrological requirements for packaged goods" No. 969 of July 5, 2017, which was about new requirements for labeling food products in Ukraine and the existence of a transition period regarding the introduction of packaged products into circulation, deserves attention does not meet the requirements of clause 1 of this order. According to the Order of the Ministry of Economic Development of Ukraine "On Amendments to Clause 3 of the Order of the Ministry of Economy" No. 462 dated March 5, 2021, from this date, food manufacturers had to switch to a new format for putting information on the packaging of packaged goods in accordance with Order of the Ministry of Economy No. 969. But, taking into account the fact that in 2020 the consumption of certain categories of food products decreased significantly and, accordingly, their sales decreased, companies created significant stocks of packaging materials. In such a situation, companies would have to write off prepackaged food products and packaging materials in large quanti-

ties only because of the non-compliance of some minor labeling components with the new rules. Losses for the business could be significant, and moreover, unjustified, since it is only about the label and does not affect the safety and quality of the product itself. Costs could reach several million hryvnias for individual companies. This would create additional problems for business, which it is already difficult to work for in the conditions of the deterioration of the economic situation in the country and the strengthening of challenges caused by the COVID-19 pandemic and the war in Ukraine. In such conditions, companies were faced with the lack of opportunities for timely adjustment of production lines. For example, checking the correctness of setting the criterion of the number of packaged goods in the package and its deviation from the nominal value, which is mandatory in accordance with the Order of the Ministry of Economy. Service departments located in other countries do not provide guarantees of arrival in Ukraine before the end of the transition period to check the operation of the equipment, as well as due to military operations. In addition, some food enterprises in Ukraine have restrictions on the presence of outsiders in production during the imposed quarantine to ensure the safety of employees.

Conclusions

Fierce competition in the market of vegetable oil, not only in the domestic market of Ukraine, but also in the global market, obliges manufacturers to modernize production and introduce technologies that allow to increase its efficiency, reduce costs and ensure the enterprise's energy independence from external sources, as well as improve the quality of the finished products to expand its sales markets. The functioning of enterprises in the conditions of the global financial and economic crisis and strict quarantine measures caused by COVID-19 complicated situation on the market during 2020—2021, which became a real challenge for the enterprises of the food industry.

Despite all the difficulties, enterprises of the oil and fat industry of Ukraine conduct a balanced price policy, ensuring priority deliveries of sunflower oil to the trade network. Producers of bottled sunflower oil are currently actually subsidizing the domestic market, regardless of the world prices for this product, since, with the high cost of raw materials, they maintain prices on the domestic market which are lower than economically justified.

In the future, the market development prospects will be related to the improvement of the quality of final products (oil) and products of its deep processing based on the cultivation of high-quality raw materials. This is possible through the implementation of new norms of international standards, in particular ISO 22000, which contain new requirements for food safety management and guarantee its high quality.

References

Барсуک, Ю. (2017). Сучасний стан розвитку виробництва та експорту соняшникової олії. *Глобальні та національні проблеми економіки*. МНУ імені В. О. Сухомлинського, 16, 103—108. Режим доступу: <http://global-national.in.ua/archive/16-2017/22.pdf>.

Богданюк, О. (2018). Оцінка стану виробництва соняшникової олії в Україні: основні тенденції та перспективи. *Статистика*, 18, 1388—1392. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2018-19-207>.

Дуранова, Т. (2013). Особливості конкуренції на ринку соняшникової олії в Україні. *Інноваційна економіка*, 8, 50—55.

Зінгаєва, Н. (2015). Сучасний стан та перспективи розвитку вітчизняного ринку соняшникової олії. *Науковий вісник Ужгородського національного університету*. Серія Міжнародні економічні відносини та світове господарство, Випуск 4, 6—9. Режим доступу: http://www.visnyk-ekonom.uzhnu.uz.ua/archive/4_2015ua/3.pdf.

Катран, М. (2018). Конкуренція на ринку соняшникової олії. *Економіка і суспільство*, 19, 166—170. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2018-19-25>.

Кучеренко, О. (2015). Тенденції виробництва соняшникової олії в Україні. *Науковий вісник Херсонського державного університету*, 12(2), 71—76.

Луцяк, В., Пронько, Л., Мазур, К., Колесник, Т. (2020). *Маркетинговий потенціал інновацій у олійно-жировому підкомплексі: стан ринку, створення вартості, конкурентоспроможність*. Монографія. Вінниця: ВНАУ, 220 с.

Масличний сезон 2020/21 — испытание на прочность для производителей подсолнечного масла Украины. (2021). *Масложировой комплекс*, 2(73), 7—8.

Новые международные стандарты для пищевой промышленности в 2021 г. (2021). *Масложировой комплекс*, 1 (72), 51—52.

Поверляк, Т. (2013). Фінансово-економічна стійкість як складова економічної стабільності підприємств. *Збірник наукових праць Таврійського державного агротехнологічного університету (економічні науки)*, 1(3), 181—186.

Показатели качества майонезов и майонезных соусов. Расчет энергетической и пищевой ценности майонезов. (2021). *Масложировой комплекс*, 3 (74), 49—53.

Сарафонов, І. (2018). *Формування механізму регулювання діяльності підприємств на ринку олійно-жирової продукції*. (дис. канд. екон. наук). Вінницький національний аграрний університет, Вінниця.

Сумець, О. (2014). Евентуальні сценарії розвитку АПК України як основа формування концепції логістичної діяльності сільськогосподарських підприємств. *Вісник ХНАУ*, 3, 207—216.

Талавира, М., Полюхович, В., Берча, О. (2022). Експорт соняшникової олії в Україні та світі. *Геополітика України: історія і сучасність*, 1(28), 142—149. [https://doi.org/10.24144/2078-1431.2022.1\(28\).142-149](https://doi.org/10.24144/2078-1431.2022.1(28).142-149).

Тимченко, В., Пилипенко, А. (2012). Стан і перспективи розвитку виробництва сої в Україні. *Корми і кормовиробництво*, 71, 27—33. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/kik_2012_71_5.

Характеристика олійно-жирового комплексу України. (2019). Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpdau_2019_1_3_26

Чехова, І., Чехов, С. (2020). Основні тенденції розвитку ринку олійних культур в Україні. *Продуктивність агропромислового виробництва. Економічні науки*, 25, 71—78.

Ціхановська, В. (2016). Оцінка стану та основні напрями розвитку вітчизняного агропродовольчого ринку в умовах глобалізації. *Ефективна економіка*, 3. Режим доступу: <http://www.econpmu.nauka.com.ua/?op=1&z=4819>.

Экономические показатели работы масложирового комплекса Украины в сентябре—июне 2020/21МГ. (2021). *Масложировой комплекс*, 2 (73), 9—19.

DEVICES BASED ON SHAPE MEMORY ALLOYS FOR INCREASING RELIABILITY OF BOLTED ELECTRICAL CONTACT CONNECTIONS

V. Romaniuk

National University of Food Technologies

Key words:

*Shape memory alloy
Reliability
Electrical contact
Contact resistance
Finite element method
Ansys*

Article history:

Received 09.01.2023
Received in revised form
27.01.2023
Accepted 14.02.2023

Corresponding author:

V. Romaniuk

E-mail:

v.t.romaniuk@gmail.com

ABSTRACT

Increasing reliability of bolted electrical contact connections is an important problem in power engineering. Such connections are very common and their damage can lead to serious consequences. One of the ways to increase reliability of bolted electrical connections is the use of special devices based on shape memory alloys (SMAs). This article contains an analysis of four devices that destroy films (oxides, sulfides etc.) which form on a contact surface of bolted electrical connections during operation. Destruction of such films slows down process of a contact connection degradation and, accordingly, extends its service life, thereby increasing reliability of a contact connection. The following devices were analyzed: a conical washer made of SMA, "Detachable connection of conductors with a contact crown nut", "Terminal lug" with shape memory effect (SME) element. These devices have SME elements which during activation increase a contact pressure in an electrical connection and, accordingly, destroy films on a contact surface. Another "Terminal lug" with SME element was also analyzed. This device has SME element which during activation displaces one contact relative to another. This motion cleans a contact surface from films without affecting a contact pressure. Analysis of these devices, in particular using the finite element method, which was implemented using Ansys 2020 R2 Academic software, showed the following disadvantages and features of the above-mentioned devices: the need to manufacture specially designed contact connection elements, the locality of a pressure increase on a contact surface, and the need to disassemble contact connections when installing SME elements. Based on the conducted analysis, a new design of a contact connection was proposed. This new design does not have indicated disadvantages and its principle of operation is based on a combined destruction of films on a contact surface by increasing a contact pressure and by the relative displacement of the contacts.

ПРИСТРОЇ НА ОСНОВІ СПЛАВІВ З ЕФЕКТОМ ПАМ'ЯТІ ФОРМИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОЗБІРНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ КОНТАКТНИХ З'ЄДНАНЬ

В. Т. Романюк

Національний університет харчових технологій

Підвищення надійності розбірних електричних контактних з'єднань є важливою проблемою в електроенергетиці. Такі з'єднання дуже поширені і їх пошкодження може призводити до важких наслідків. Одним із способів підвищення надійності розбірних електричних з'єднань є використання спеціальних пристроїв на основі сплавів з ефектом пам'яті форми (ЕПФ). У статті проаналізовано чотири пристрої, які руйнують сторонні плівки, що утворюються на контактній поверхні розбірних електричних з'єднань у процесі роботи. Руйнування сторонніх плівок уповільнює процес деградації контактного з'єднання і, відповідно, подовжує термін його експлуатації. У такий спосіб підвищується надійність контактного з'єднання.

Аналізувались такі пристрої: конічна шайба, виготовлена зі сплаву з ЕПФ, роз'ємне з'єднання провідників з контактною коронковою гайкою, апаратний затискач з елементом з ЕПФ, в якому при спрацюванні елементи з ЕПФ збільшують контактний тиск в електричному з'єднанні і руйнують сторонні плівки на контактній поверхні, та затискач апаратний з елементом з ЕПФ, в якому при спрацюванні елемент з ЕПФ зміщує один контакт відносно іншого, при цьому відбувається зачищення контактної поверхні від сторонніх плівок без впливу на контактний тиск.

У результаті аналізу вищезазначених пристроїв, зокрема з використанням методу скінченних елементів, що був реалізований завдяки використанню програмного засобу Ansys 2020 R2 Academic, були виявлені такі недоліки та особливості роботи вищезгаданих пристроїв: необхідність виготовлення елементів контактного з'єднання особливої конструкції, розбирання контактного з'єднання при встановленні елементів з ЕПФ і локальність збільшення тиску на контактній поверхні. На основі проведеного аналізу була запропонована конструкція контактного з'єднання, що не має вказаних недоліків і принцип дії якої заснований на комбінованому руйнуванні сторонніх плівок на контактній поверхні шляхом збільшення контактного тиску та відносного зсуву контактів.

Ключові слова: сплав з ефектом пам'яті форми, надійність, електричний контакт, контактний опір, метод скінченних елементів, Ansys.

Постановка проблеми. Електричні мережі мають велику кількість електричних контактних з'єднань (зокрема розбірних). Їх пошкодження може призводити до важких наслідків, тому актуальним є завдання підвищення надійності цих з'єднань. Сплави з ефектом пам'яті форми (ЕПФ) мають унікальні властивості, що дають змогу використовувати їх для вирішення цього завдання. ЕПФ, який роз-

глядається, передбачає, що матеріал, який ним володіє, після деформації повертається до своєї оригінальної форми внаслідок нагрівання.

Метали (сплави) мають кристалічну структуру, тобто атоми в об'ємі металу розташовані в певному порядку. Сплави з ЕПФ можуть знаходитись у двох різних фазах — аустеніт (високотемпературна фаза — кубічний тип ґратки) та мартенсит (низькотемпературна фаза — гексагональний або моноклінний тип ґратки).

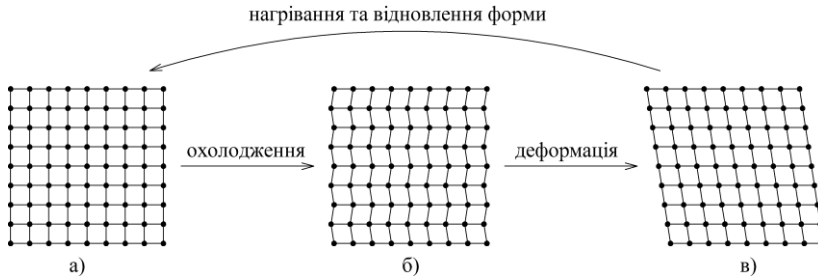


Рис. 1. Спрощене зображення кристалічних ґраток у сплаві з ЕПФ:
а) аустеніт; б) двійниковий мартенсит; в) деформований мартенсит

На рис. 1, б видно, що елементи мартенситної фази можуть бути орієнтовані ліворуч або праворуч. При деформації матеріалу в мартенситній фазі її елементи змінюють свою орієнтацію. На рис. 1, в показаний варіант структури матеріалу після деформації, де всі елементи структури орієнтовані ліворуч. Варто зауважити, що при деформації в такому механізмі не відбувається порушення оригінальних міжатомних зв'язків. Якщо такий деформований зразок нагріти вище температури A_f (рис. 2), мартенсит повністю перетворюється на аустеніт. При цьому атоми потрапляють на свої попередні місця (оскільки оригінальні зв'язки між атомами не були порушені). На макроскопічному рівні спостерігається повертання форми матеріалу до тієї, яку матеріал мав до деформації (рис. 1).

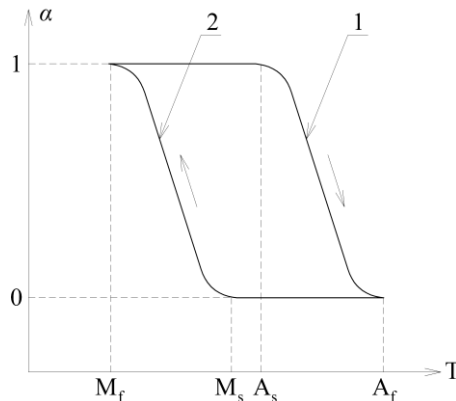


Рис. 2. Діаграма фазових перетворень у сплаві з ЕПФ:

α — частка мартенситу в об'ємі матеріалу; 1 — обернене мартенситне перетворення, при нагріванні; 2 — пряме мартенситне перетворення, при охолодженні; A_s , A_f — температури початку та кінця оберненого мартенситного перетворення; M_s , M_f — температури початку та кінця прямого мартенситного перетворення

Після охолодження відбувається ще одне фазове перетворення — аустеніт перетворюється у двійниковий мартенсит. При цьому на макроскопічному рівні нічого не спостерігається, оскільки двійниковий мартенсит займає такий самий об'єм, як і аустеніт. Зразок стає готовим до нового циклу деформація — відновлення форми (Arun, Chakravarthy, ArockiaKumar, & Santhosh, 2018).

У процесі роботи розбірні контактні з'єднання деградують. Це виявляється через збільшення контактного опору. До однієї з основних причин, через які збільшується контактний опір електричного з'єднання, можна віднести появу сторонніх плівок на контактній поверхні, перш за все через процеси окиснення (Slade, 2014). Одним із можливих способів підвищення надійності розбірних електричних з'єднань шляхом використання сплавів з ЕПФ є руйнування сторонніх плівок, що виникають на контактній поверхні в процесі роботи. Існує декілька варіантів реалізації цього способу, для чого розроблені відповідні пристрої. В цій статті виконується аналіз та порівняння чотирьох таких пристроїв, а також розробка нової конструкції пристрою аналогічного призначення. Аналіз наявних і розробка нових пристроїв сприяє їх поширенню, удосконаленню і впровадженню, що, своєю чергою, спрямоване на підвищення надійності систем електрозабезпечення в цілому.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним із способів нормалізації електричного контакту при нагріванні розбірний електричного з'єднання є збільшення контактного тиску. Збільшення контактного тиску зменшує контактний опір, температуру контакту та збільшує ресурс контактного з'єднання. Збільшення контактного тиску руйнує сторонні плівки на контактній поверхні.

У літературі поширеним пристроєм для аналізу є конічна шайба, виготовлена зі сплаву з ЕПФ, яка при нагріванні створює додатковий контактний тиск.

Розглянемо дослідження шведських науковців на цю тему, де вивчається можливість використання конічної шайби з ЕПФ для підвищення надійності з'єднання та як єдине джерело зусилля в з'єднанні (рис. 3). В результаті виявилось, що обидва варіанти є допустимими (Oberg, & Nilsson, 1993).

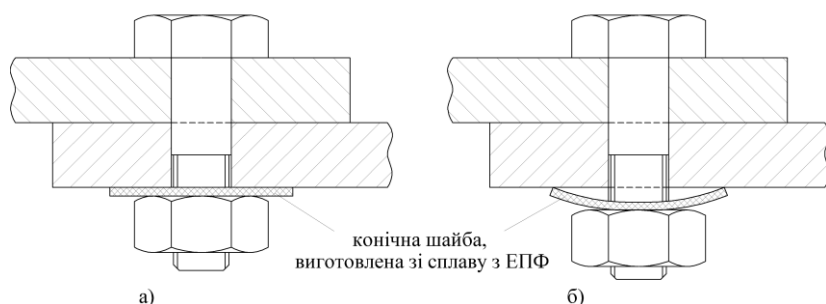


Рис. 3. Принцип використання конічної шайби, виготовленої зі сплаву з ЕПФ в електричному болтовому з'єднанні

а) з'єднання за нормальної температури; б) з'єднання за підвищеної температури через нагрівання струмом перевантаження або короткого замикання

У процесі дослідження використовувався сплав CuAlNi. Конічна шайба стискається при кімнатній температурі. Вона відновлює форму при нагріванні до температури (температура A_f) вище 75 °C (рис. 3, б). При відновленні своєї попе-

редньої форми шайба збільшує контактний тиск з'єднання. Контактний опір в обох випадках після спрацювання елемента з ЕПФ був меншим, ніж у контрольному зразку без шайби з ЕПФ (Oberg, & Nilsson, 1993).

Більш ретельне дослідження аналогічної за конструкцією шайби з ЕПФ провели вчені з Канади. Досліджувався сплав CuAlMn. Тестування проводилося значно довше та з циклічною подачею струму (на відміну від шведських вчених). Результати показали беззаперечний позитивний вплив шайби з ЕПФ на якість з'єднання. Порівняно з іншими засобами, які використовувались для утворення задовільного контактного з'єднання (шайбою Гровера та конічною шайбою), шайба з ЕПФ виявилась найбільш ефективною. Автори зазначають, що навіть при низькому початковому контактному тиску (при неправильній установці болтового з'єднання), шайба з ЕПФ при нагріванні нормалізує контакт. Це, на думку авторів, має велику практичну цінність, оскільки польові дослідження показали, що дуже часто з'єднання виходять з ладу саме через неправильну їх установку (Braunovic, & Labrecque, 1995; Braunovic, & Labrecque, 1996).

Проводилось також дослідження шайб зі сплаву CuAlNiMnTi, які показали схожі результати (Labrecque, Braunovic, Terriault, Trochu, & Schetky, 1996).

Українські автори пропонують використовувати схожу конічну шайбу, яка виготовлена з матеріалу з ЕПФ (сплаву CuAlMn). Її рекомендується включати в болтове з'єднання, яке затягнуте до номінального зусилля. Таким чином шайба з ЕПФ буде відновлювати свою форму та створювати тиск лише у разі появи деформації і зниження контактного тиску в з'єднанні (Козирський, Ткачук, & Слушний, 2018).

Проведений авторами розрахунок показав високу ефективність зазначених елементів з ЕПФ. При використанні їх в електричних болтових контактних з'єднаннях збільшуються граничні терміни проведення ремонтних робіт і терміни служби контактів у 3—4 рази (Козирський, Ткачук, & Слушний, 2018; Козирський, Ткачук, Волошин, & Слушний, 2019).

Мета дослідження: проаналізувати пристрої, виготовлені на основі сплавів з ЕПФ для підвищення надійності розбірних електричних з'єднань шляхом руйнування сторонніх плівок на контактній поверхні при спрацюванні елементів з ЕПФ та розробити дизайн нового пристрою, ґрунтуючись на виявлених при аналізі особливостях і недоліках наявних пристроїв.

Матеріали і методи. Компаративний аналіз, метод скінченних елементів (реалізований за допомогою програмного засобу Ansys 2020 R2 Academic).

Викладення основних результатів дослідження. Як видно з аналізу літератури, конічні шайби, виготовлені зі сплавів з ЕПФ для використання в електричних розбірних з'єднаннях, досить добре досліджені в Україні та за кордоном (Oberg, & Nilsson, 1993; Braunovic, & Labrecque, 1995; Braunovic, & Labrecque, 1996; Labrecque, Braunovic, Terriault, Trochu, & Schetky, 1996; Козирський, Ткачук, & Слушний, 2018; Козирський, Ткачук, Волошин, & Слушний, 2019; Trochu, & Terriault, 1998; Braunovic, Myshkin, & Konchits, 2006; Slade, 2014; Chen, Fang, & Tian, 2014; Li, Liu, Xie, Liu, & Long, 2017; Li та ін., 2019). Тут варто зазначити, що в багатьох проведених дослідженнях пропонується виготовляти конічні шайби зі сплавів з ЕПФ на основі міді. Цей вибір може бути обґрунтованим економічними та виробничими міркуваннями. Сплави NiTi, попри те, що є дорожчими та більш

важкооброблюваними, вирізняються кращими характеристиками (Alaneme, & Okotete, 2016). Застосування конічних шайб зі сплавів NiTi у болтових з'єднаннях залишає місце для подальших досліджень. Кілька років тому китайські вчені почали проводити дослідження в цьому напрямку (Li, Liu, Xie, Liu, & Long, 2017; Li та ін., 2019).

Існують також альтернативні розробки, які потребують більш детального вивчення. Розглянемо їх.

Збільшувати контактний тиск можна принципово іншим способом (патент України № 17429 «Роз'ємне з'єднання провідників з контактною коронковою гайкою») (рис. 4).

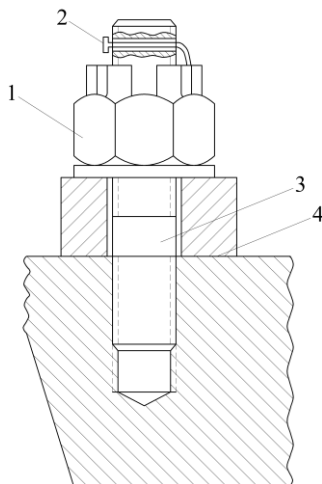


Рис. 4. Загальний вигляд шпилькового з'єднання:

1 — коронкова гайка; 2 — силовий елемент з ЕПФ; 3 — шпилька; 4 — контактна поверхня

У цьому разі силовий елемент з ЕПФ 2 при підвищенні температури створюватиме крутний момент і закручуватиме гайку. Це, своєю чергою, збільшить контактний тиск, зруйнує сторонні плівки на контактній поверхні та зменшить контактний опір.

Конічна шайба та силовий елемент у контактній коронковій гайці впливають на роботу болта (або як на рис. 4 — шпильки). З проаналізованих у літературному огляді досліджень зрозуміло, що ступінь виявлення ЕПФ (і, відповідно, створюваного нею зусилля) в конічній шайбі залежить від прикладеного до неї зусилля. Також при зменшенні температури до нормальної конічна шайба більше не буде створювати додаткового зусилля і, відповідно, контактний тиск зменшиться. Коронкова гайка після спрацювання елемента з ЕПФ закручується, при цьому контактний тиск дещо збільшиться та залишатиметься підвищеним при спаданні температури до нормальної.

Існує варіант пристрою, в якому елемент з ЕПФ відділений від болтового з'єднання та створює тиск на контакт незалежно від створеного болтом зусилля (патент України № 8909 «Апаратний затискач») (рис. 5).

Термочутливий елемент 1 має фігурну форму. В нормальних умовах він випрямляється та вставляється в паз 2. При підвищенні температури, термочутли-

вий елемент нагрівається до температури зворотного мартенситного перетворення, відновлює свою фігурну форму, різко збільшуючи контактний тиск. Це руйнує сторонні плівки на поверхні контактів, зменшує контактний опір, температура контакту зменшується і він повертається до нормального режиму роботи.

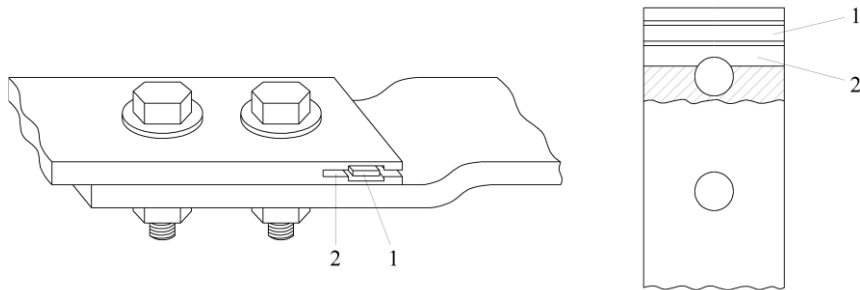


Рис. 5. Апаратний затискач з термочутливим елементом:

1 — термочутливий елемент; 2 — паз

Оскільки вищезгадані пристрої створюють силовий вплив на елементи контактного з'єднання, для кращого розуміння їх роботи можна провести аналіз з використанням методу скінченних елементів. Як геометрію для аналізу обрано останній представлений пристрій — апаратний затискач з елементом з ЕПФ. Використаний тип аналізу — Static Structural. Розміри контактів — $100 \times 40 \times 10$ мм. Болти — M14. Матеріал контактів — мідь (модуль Юнга: 110 ГПа, коефіцієнт Пуассона: 0,35), матеріал болтів і гайок — сталь марки 20 (модуль Юнга: 200 ГПа, коефіцієнт Пуассона: 0,28). Налаштування сітки: метод генерації сітки для контактів — Hex Dominant з розміром елементів 5 мм; метод генерації сітки для болтів і гайок — Multi Zone з розміром елементів 3 мм. Ці параметри обрані з урахуванням того, щоб зробити сітку якомога детальнішою, не виходячи за обмеження, накладені академічною версією програми Ansys. Контакти (Connections) між болтами та гайками обрано нерухожими (bonded), всі інші контакти між окремими частинами моделі обрано без тертя (frictionless). Модель навантажена так: попереднє навантаження болтів (bolt pretension): 18860 Н; сила, з якою елемент з ЕПФ при спрацюванні тисне на верхню та нижню поверхню паза, в якому він знаходиться припустимо 3000 Н. Попереднє навантаження болтів обрано як половина від критичного їх навантаження $F_{\text{крит.}}$, яке розраховано таким чином. Якщо радіус болта $r = 7$ мм, а площа перерізу $S = \pi \cdot r^2 = 153,94 \text{ мм}^2$, то, враховуючи границю плинності 245 МПа (для сталі 20), $F_{\text{крит.}} = 245 \cdot 153,94 = 37,72 \text{ кН}$. Половина від цього значення становить 18,86 кН. Також для стабільності модель закріплена з двох сторін за допомогою нерухомих опор (fixed support), що встановлені на місцях, в яких контакти продовжуються, але не беруться до уваги при моделюванні.

Налаштування моделі та її геометрія зображені на рис. 6.

Перевірялись три випадки:

1. Без впливу елемента з ЕПФ та з нормальним попереднім навантаженням болтів.

2. Без впливу елемента з ЕПФ, але зі збільшеним попереднім навантаженням болтів на величину дії елемента з ЕПФ (по 6000 Н на кожен болт).

3. З урахуванням впливу елемента з ЕПФ та з нормальним попереднім навантаженням болтів.

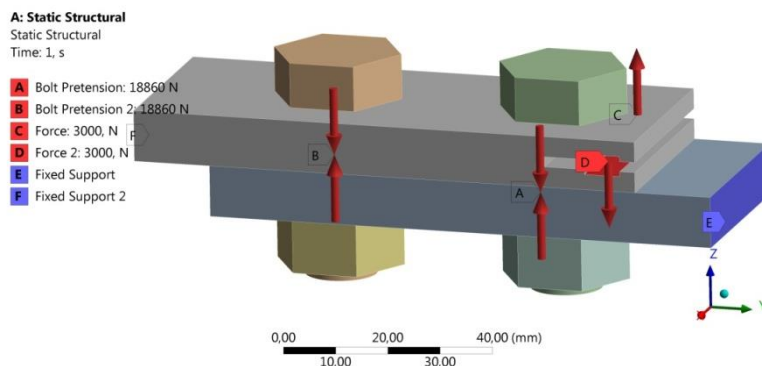


Рис. 6. Геометрія та налаштування моделі

Перший випадок є контрольним, другий можна розглядати як наслідок використання конічних шайб з матеріалу з ЕПФ або контактної коронкової гайки, третій випадок симулює роботу апаратного затискача з елементом з ЕПФ.

Як результат оцінювалось нормальне напруження в матеріалі за напрямком осі Z. Результати знімались по лінії, що проведена біля контактної поверхні верхнього контакту вздовж осі Y, як показано на рис. 7.

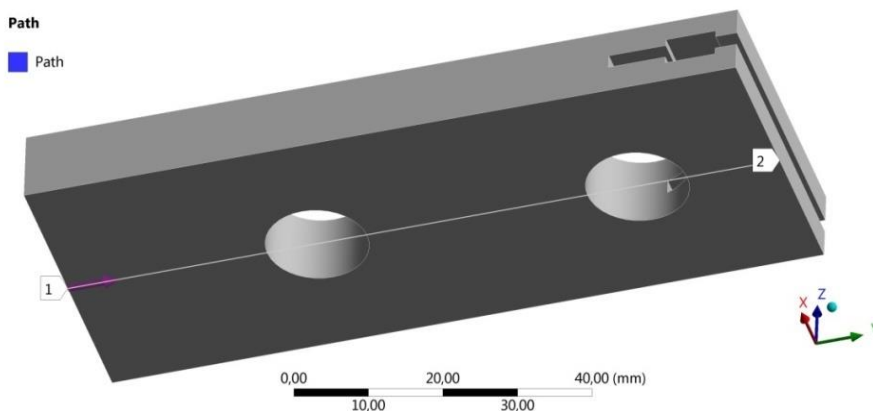


Рис. 7. Лінія, вздовж якої знімались покази напружень на верхньому контакті

Результати моделювання показані на графіку (рис. 8).

Приблизно з точки $x = 28$ мм до $x = 42$ мм та $x = 72$ мм до $x = 86$ мм спостерігається значне збільшення напружень, цим областям відповідають значення напружень у болтах. Стрибки від негативних значень до позитивних обумовлені різними напрямками сил у болтах і матеріалі контакту.

Напруження в правому болті мають такий вигляд через специфічну геометрію паза для елемента з ЕПФ. Як бачимо, напруження в ньому вирівнюються при спрацюванні елемента з ЕПФ.

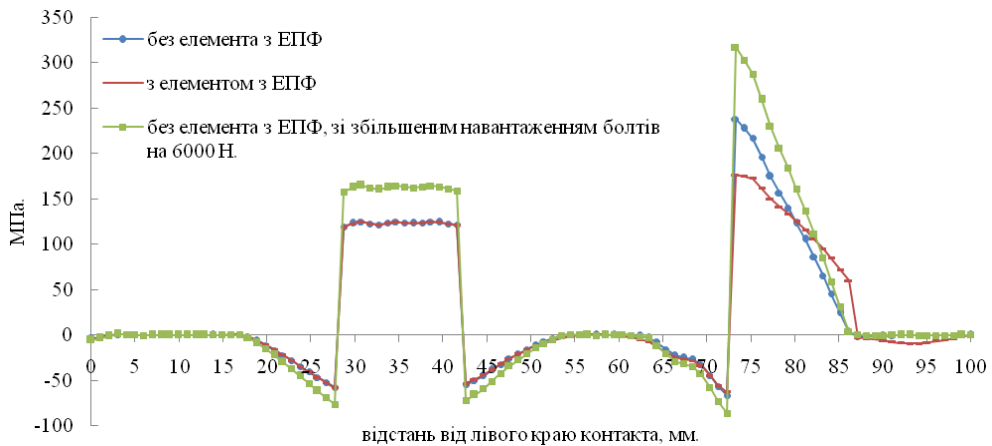


Рис. 8. Результат моделювання

Збільшення навантаження болтів призводить до збільшення напружень у матеріалі контакту, але, як видно з графіка на рис. 8, напруження збільшуються лише досить близько до болта. При віддаленні від болта приблизно на 10 мм додаткове збільшення їх навантаження мало впливає на напруження в матеріалі контакту. При спрацюванні елемента з ЕПФ (червона лінія на графіку) відбувається збільшення напружень в тих областях контакту, де раніше їх не було або практично не було (приблизно з точки $x = 89$ мм до $x = 98$ мм), також бачимо збільшення напружень у точках від $x = 63$ мм до $x = 65$ мм і навіть близько до точки $x = 53$ (на графіку не дуже помітно).

Аналіз з використанням методу скінченних елементів свідчить про те, що в усіх розглянутих пристроях тиск на контактній поверхні при спрацюванні елементів з ЕПФ створюється досить локально. Тобто в усіх випадках контактний тиск при спрацюванні елементів з ЕПФ збільшується в зоні дії цих елементів. Щоб розширити зону силового впливу елементів з ЕПФ можна збільшувати зусилля, яке генерується цими елементами (наприклад, через підбір сплаву та розмірів і форми елементів з ЕПФ), але при цьому потрібно зважати на можливості матеріалів контактів витримувати додаткове зусилля без пластичної деформації. Для розглянутої моделі збільшувати зусилля вже недоречно, оскільки напруження в матеріалі контакту перебувають практично на межі міцності для міді, а для алюмінію обмеження будуть ще жорсткішими. Отже, можна зробити висновок, що варто збільшити не зусилля, а кількість точок прикладання зусилля, що знаходиться в допустимих для матеріалу контактів межах.

Також варто відмітити інший підхід (патент України № 10817 «Затискач апаратний») (рис. 9). Цей пристрій призначений руйнувати оксидні плівки на поверхні контактів без впливу на контактний тиск. Він також працює незалежно від зусилля, створюваного болтом.

За таких умов при нагріванні контактного з'єднання елемент з ЕПФ відновлюватиме свою форму та чинитиме тиск на контакт. Контакт при цьому переміститься на незначну відстань — 0,1—0,3 мм. Це спричинить руйнування плівок оксидів на контактних поверхнях і зменшить контактний опір.

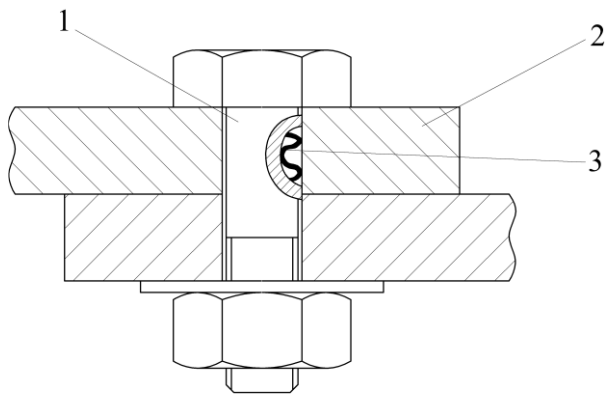


Рис. 9. Контактний болт з термочутливим пристроєм:
1 — болт; 2 — контакт; 3 — термочутливий елемент з ЕПФ

Такий принцип руйнування сторонніх плівок на контактній поверхні, а також інтерпретація результатів моделювання та деякі інші недоліки вищезгаданих пристроїв (необхідність у виготовленні елементів контактного з'єднання особливої конструкції, необхідність у розбиранні електричного з'єднання для встановлення елемента з ЕПФ) враховані в наступному дизайні розбірного електричного з'єднання з елементом з ЕПФ.

Загальний вигляд запропонованого автором цієї статті з'єднання показаний на рис. 10, де 1 — термочутливий елемент з ЕПФ; 2 — верхній контакт; 3 — нижній контакт; 4 — болти, які з'єднують контакти 2 і 3.

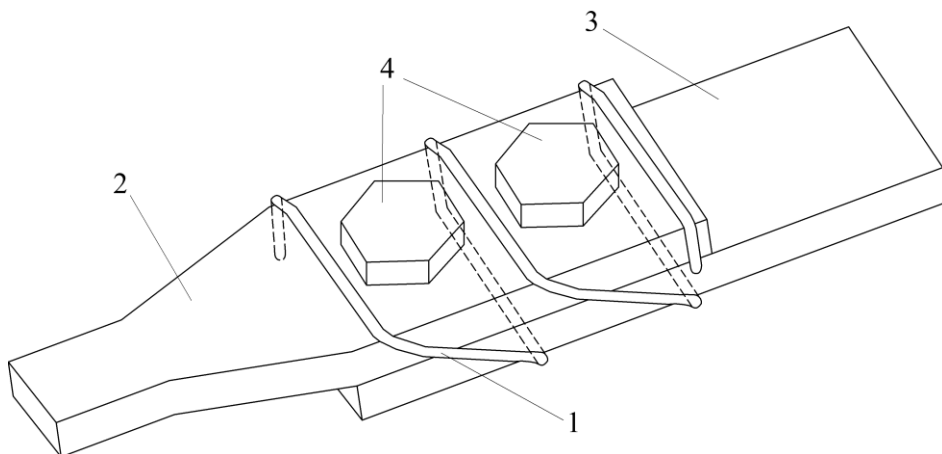


Рис. 10. Загальний вигляд запропонованого пристрою

Термочутливий елемент 1 виготовляється зі сплаву з ЕПФ та має форму пружини, що огортає контактне з'єднання. При виготовленні та наданні термочутливому елементу 1 вихідної форми, він виготовляється під габарити менші на кілька відсотків, ніж габарити з'єднання. Відповідно, при встановленні термочутливого елемента 1 на контактне з'єднання, він попередньо деформується (розширюється). Температура повного спрацювання термочутливого елемента 1 (температура кінця оберненого мартенситного перетворення) обирається з урахуванням максимально допустимої температури контактного з'єднання.

Пристрій працює таким чином: у процесі роботи на контактній поверхні між контактами 2 та 3 відбувається ріст сторонніх плівок, при цьому збільшується контактний опір і, відповідно, температура контактного з'єднання (контактів 2, 3 та з'єднувальних елементів — болтів 4 і гайок 5). Оскільки термочутливий елемент 1 огортає контакти 2 та 3, при їх нагріванні він також нагріватиметься. При підвищенні температури до температури зворотного мартенситного перетворення термочутливого елемента 1, він «згадуватиме» свою вихідну форму, стискуватиметься та чинитиме тиск на елементи контактного з'єднання (передусім на контакти 2 та 3). Відповідно, контактний тиск збільшиться, що призведе до зменшення контактного опору, зокрема внаслідок руйнування сторонніх плівок на контактній поверхні. Крім того, оскільки зусилля, що створюється термочутливим елементом 1 спрямовується не лише перпендикулярно до контактної поверхні, цей ефект додатково сприятиме руйнуванню сторонніх плівок на контактній поверхні внаслідок відносного зсуву елементів контактного з'єднання (зсуву контактів 2 та 3 один відносно одного). Після спрацювання термочутливого елемента 1, контактний опір і, відповідно, температура контактного з'єднання (температура всіх його елементів 2—5) зменшиться і він перейде в нормальний режим роботи. Термочутливий елемент 1 внаслідок охолодження перейде в низькотемпературний стан, внутрішні напруження в матеріалі зменшаться і він буде готовий до спрацювання при подальшому виникненні сторонніх плівок на контактній поверхні та, відповідно, зростанні контактного опору і температури з'єднання. Запропонована конструкція не вимагає розбирання контактного з'єднання для встановлення термочутливого елемента, що спрощує процес монтажу.

Висновки

Конічна шайба зі сплаву з ЕПФ, роз'ємне з'єднання провідників з контактною коронковою гайкою та апаратний затискач з елементом з ЕПФ генерують зусилля, яке збільшує контактний тиск і спрямоване на руйнування сторонніх плівок на контактній поверхні. Аналіз з використанням методу скінченних елементів показав, що ці пристрої створюють додатковий контактний тиск локально. Також проаналізований пристрій «Затискач апаратний» з елементом з ЕПФ, в якому елемент з ЕПФ при спрацюванні зміщує один контакт в контактному з'єднанні відносно іншого, при цьому відбувається зачищення контактних поверхонь та видалення сторонніх плівок без збільшення контактного тиску. Всі вказані пристрої потребують розбирання наявних електричних з'єднань для встановлення елементів з ЕПФ. Також усі пристрої, окрім конічної шайби зі сплаву з ЕПФ, потребують виготовлення елементів контактного з'єднання особливої конструкції.

На основі проведеного аналізу запропонована конструкція розбірного електричного з'єднання з елементом з ЕПФ, яка характеризується тим, що її принцип дії полягає в комбінованому руйнуванні сторонніх плівок на контактній поверхні шляхом збільшення контактного тиску та відносного зсуву елементів контактного з'єднання; підвищення контактного тиску в разі спрацювання елемента з ЕПФ відбувається більш рівномірно (через те, що елемент з ЕПФ стискає контактне з'єднання по всій його довжині); запропонований пристрій не потребує елементів контактного з'єднання особливої конструкції; процес монтажу елемента з ЕПФ є таким, який не вимагає розбирання наявних електричних з'єднань.

Література

Козирський, В. В., Ткачук, І. П., Волошин, С. М., Слушний, І. І. (2019). Обґрунтування термінів ремонтних робіт та прогнозування строків служби контактів розбірного типу за умов неповноти вихідної інформації. *Техніка та енергетика*, 10(4), 13—17. doi: 10.31548/machenergy 2019.04.013.

Козирський, В. В., Ткачук, І. П., Слушний, І. І. (2018). Динамічне управління контактним тиском у розбірних електричних контактах з використанням сплавів з ефектом пам'яті форми. *Енергетика і автоматика*, 2, 5—26. doi: 10.31548/energiya2018.02.005.

Alaneme, K. K., Okotete, E. A. (2016). Reconciling viability and cost-effective shape memory alloy options — A review of copper and iron based shape memory metallic systems. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 19(3). 1582—1592. doi: 10.1016/j.jestch. 2016.05.010.

Arun, D. I., Chakravarthy, P., Arockia Kumar, R., & Santhosh, B. (2018), *Shape Memory Materials*. Boca Raton, FL: CRC Press.

Braunovic, M., & Labrecque, C. (1995). Shape-memory alloy mechanical contact devices, Electrical Contacts — 1995. Proceedings of the Forty-First IEEE Holm Conference on Electrical Contacts (pp. 21—32). Montreal, Quebec, Canada: IEEE. doi: 10.1109/HOLM.1995.482858.

Braunovic, M., & Labrecque, C. (1996). Shape-memory alloy mechanical contact devices. IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology: Part A, 19(3), 295—303. doi: 10.1109/95.536830.

Braunovic, M., Myshkin, N. K., & Konchits, V. V. (2006). *Electrical Contacts: Fundamentals, Applications and Technology*. CRC Press.

Chen, T., Fang, X., & Tian, H. (2014). Application Research of Memory Alloy Washer on Power Equipment Safety and Energy Saving. *Advanced Materials Research*, 842, 719—724. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.842.719.

Labrecque, C., Braunovic, M., Terriault, P., Trochu, F., & Schetky, M. (1996). Experimental and theoretical evaluation of the behavior of a shape memory alloy Belleville washer under different operating conditions, Electrical Contacts — 1996. Proceedings of the Forty-Second IEEE Holm Conference on Electrical Contacts. Joint with the 18th International Conference on Electrical Contacts (pp. 195—204). Chicago, IL, USA: IEEE. doi: 10.1109/HOLM.1996.557197.

Li, W., Liu, L., Xie, Y., Liu, Y., & Long, Y. (2017). Study on the self-suppression heating effect of NiTi shape memory alloy dish gasket, 2017 EPTC Power Transmission and Transformation Technology Conference (pp. 1—6). Chongqing. doi: 10.1049/cp.2017.0542.

Li, W., Liu, L., Yang, Y., Xie, Y., Chen, J., Sun, L., & Long, Y. (2019). Application of NiTi memory alloy dish gasket in power grid, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 295 032081. doi: 10.1088/1755-1315/295/3/032081.

Oberg, A., & Nilsson, S. (1993). Shape memory alloys for power connector applications, Proceedings of IEEE Holm Conference on Electrical Contacts (pp. 225—228). Pittsburgh, PA, USA: IEEE. doi: 10.1109/HOLM.1993.489680.

Slade, P. G. (Ed.). (2014). *Electrical Contacts: Principles and Applications*, Second Edition (2nd ed.). CRC Press.

Trochu, F., Terriault, P. (1998). Nonlinear modelling of hysteretic material laws by dual kriging and application. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 151(3—4), 545—558. doi: 10.1016/S0045-7825(97)00165-5.

THE INFLUENCE OF DIETARY FIBER FROM RICE BRAN AND DEFATTED SESAME FLOUR ON FERMENTED MILK DRINK

Xuanxuan Qin^{1,2}, M. Samilyk¹, Yanghe Luo²

¹ Sumy National Agrarian University

² Hezhou University, Guangxi, China

Key words:

Rice bran
Sesame flour
Kefir
Dietary fiber

Article history:

Received 04.01.2023
Received in revised form
18.01.2023
Accepted 01.02.2023

Corresponding author:

M. Samilyk

E-mail:

m.samilyk@ukr.net

ABSTRACT

Both rice bran (RB) and defatted sesame flour (DSC) are by-products of agricultural processing, they are rich in dietary fiber. In modern society, dietary fiber is increasingly being paid attention to for its health benefits. This paper is aimed at studying the properties of kefir added with RB and DSC, including content of dietary fiber, pH, titratable acidity, viscosity, amount of *Lactococcus spp.*, *Lactobacillus spp.* and yeast. Three different kefirs were investigated (control sample, kefir with 0.1% RB, kefir with 2% DSC) and stored for 28 days at 4±1 °C. The content of dietary fiber in samples of kefir, pH, titratable acidity, viscosity, amount of *Lactococcus spp.*, *Lactobacillus spp.* and yeast were determined at 1st, 7th, 14th and 28th days of storage. Results showed that the introduction of RB and DSC increased the content of dietary fiber in kefir samples by 300% and 680%, compared to control sample, improved the viscosity by 6 times and 25 times compared to control sample, and acidity — by 9% and 75%, stimulated growth of probiotics including *Lactococcus spp.* (content increased by 6% and 8% compared to control sample), *Lactobacillus spp.* (content increased by 16% and 4% compared to control sample) and yeast (content increased by 7% and 1% compared to control sample on the 7th day of storage). The increase of dietary fiber content and probiotics quantity could improve the health properties of kefir, the increase viscosity make kefir more popular with consumers (according to the data from a survey of consumers, they tend to prefer thicker kefir) and the increase of acidity would shorten fermentation time and reduce production cost. To reach better quality of kefir, RB and DSC should be pretreated: crushing, decolorization, deodorization. And adding larger amount lead to bad taste, so the urgent problem which needs to be resolved is to decrease the adverse effect of RB and DSC on properties of kefir.

ВПЛИВ ХАРЧОВИХ ВОЛОКОН РИСОВИХ ВИСІВОК І ЗНЕЖИРЕНОГО КУНЖУТНОГО БОРОШНА НА КИСЛОМОЛОЧНИЙ НАПІЙ

Сюаньсуань Цинь^{1,2}, М. М. Самілик¹, Янхе Луо²

¹ Сумський національний аграрний університет

² Університет Хечжоу, Гуансі, Китай

Такі побічні продукти переробки сільськогосподарської продукції, як рисові висівки (РВ) і знежирене кунжутне борошно (ЗКБ) багаті на харчові волокна, корисні для здоров'я людини. У статті вивчається вплив РВ і ЗКБ на кефір. Було досліджено три різні зразки кефіру (контрольний зразок, кефір з 0,1% РВ та кефір з 2% ДСК), що зберігалися 28 днів при температурі 4 ± 1 °C. Вміст харчових волокон у зразках кефіру, рН, титровану кислотності, в'язкість, кількість *Lactococcus* spp., *Lactobacillus* spp. і дріжджів визначали на 1-й, 7-й, 14-й та 28-й дні зберігання. Результати показали, що введення РВ і ДСК підвищує вміст харчових волокон у зразках кефіру на 300% і 680%, в'язкість — у 6 і 25 разів, кислотність — на 9% і 75%, якщо порівняти з контрольним зразком. Крім того, додавання РВ і ДСК стимулює зростання пробіотиків, включаючи *Lactococcus* spp. (на 6% і 8%), *Lactobacillus* spp. (на 16% і 4%), і дріжджів (на 7% і 1% на 7-й день), порівняно з контрольним зразком. Збільшення вмісту харчових волокон і кількості пробіотиків підвищує цінність кефіру для здоров'я. Підвищення в'язкості зробить кефір більш популярним у споживачів (згідно з даними опитування споживачі, як правило, віддають перевагу більш густому кефіру), а підвищення кислотності скоротить час бродіння і знизить собівартість продукції. Щоб досягти кращої якості кефіру, РВ і ДСК повинні бути попередньо оброблені (дроблення, знебарвлення, дезодорація). З'ясовано, що додавання більшої кількості РВ і ДСК погіршує смак продукції, тому нагальною проблемою, яка потребує вирішення, є зменшення несприятливого впливу добавок на кефір.

Ключові слова: рисові висівки, кунжутне борошно, кефір, харчові волокна.

Formulation of the problem. With the improvement of people's living conditions, the health problems brought by excessive intake of products especially high-calorie are becoming more and more seriously. Obesity, hypertension, hyperlipidemia and hyperglycemia seriously threaten people's health, it is necessary to control the excessive intake of products to keep health.

Dietary fiber is known as "the seventh nutrient", it has several physiological functions. According to well-documented studies, dietary fiber plays a significant role in risk reduction of several chronic diseases. Diet with a high content of fiber has a positive effect on health and its consumption has been related to a better management of blood sugar, lowering blood cholesterol, improving health, and reducing risk of coronary heart disease, as well as several types of cancer, particularly colon cancer (Aune et al., 2012). These functions enable dietary fiber to meet the health needs of people.

Rice bran (RB) and defatted sesame cake (DSC) are by-products of agricultural processing, they are rich in dietary fiber. In view of benefits of dietary fiber, the introduction of RB and DSC into kefir would be a very significant attempt. But there is little study about the introduction of DSC or RB into kefir.

Thus, innovative facets regarding the usage of these wastes as co-products for further production of food additives, supplements or value-added products with high nutritional value are gaining increasing interest. Furthermore, their recovery and utilization are economically and ecologically attractive.

Analysis of recent research and publications. Dietary fibers are naturally present in a variety of grains, legumes, fruits, vegetables. Based on intestinal solubility (fermentability), dietary fibers are also classified as insoluble and soluble fiber. Soluble dietary fiber (SDF) partially dissolves in water. It undergoes metabolic processing via fermentation, yielding end products with significant health effect such as modulation of blood glucose and lipids, as well as improvement of colonic medium and regulation of immune responses (Ötles, & Ozgoz, 2014).

Dietary fiber could not be digested and absorbed by human body, and their intake could give the feeling of fullness, these characteristics could avoid the excessive intake of energy. Studies have shown that dietary fiber could promote the growth of probiotics (Ozcan, & Kurtuldu, 2014), which is also beneficial to human health. Dietary fiber had a strong water holding capacity, which helped to improve the consistency of fermented dairy products, so that dairy products would be more favored by consumers.

The effect of substitution of skim milk powder and milk fat by high performance and native inulin on rheological, textural and sensory properties of kefir were studied (Glibowski, & Zielińska, 2015). Results showed that both native and high performance inulin can be successfully applied as a skim milk powder substitute. Kefirs with different types of inulin revealed similar rheological and sensory properties. Rotational rheometry revealed that the studied kefir exhibited thixotropic and shear thinning behavior. Substitution of skim milk powder by inulin allowed reducing 12% and 35% of caloric value in comparison with skim milk powder and whole milk powder kefir, respectively.

Kefir enriched with apple fiber (AF) and lemon fiber (LF) was studied (Goncu, Celişkel, Guler-Akin, & Serdar Akin, 2017). Results showed that the water activity values of kefir samples were between 0.93–0.99, control sample had the highest water activity (A_w). Addition of DF reduced A_w of kefir. Fiber concentration affected A_w negatively ($p < 0.01$). Lactic acid bacteria (LAB) counts were between 9.79–10.89 log cfu/mL⁻¹ during storage time. The number of LAB were found to be higher in samples with DF than in the control sample ($p < 0.01$). Addition of DF had significant effect on the sensory characteristics of kefir ($p < 0.01$).

The effects of quinoa flour and inulin on some properties of kefir, including pH, syneresis, viscosity, *Streptococci* and *Lactobacilli* counts, total phenolic content, antioxidant activity, titratable acidity were investigated (Kef, & Arslan, 2021). In samples produced with both types of milk, inulin addition significantly ($p < 0.05$) increased viscosity and decreased syneresis. The lowest pH value was obtained in kefir with cow milk produced with 0.5% quinoa flour. Various formulations of kefir samples had significant effects on the syneresis, viscosity, *Streptococci* and *Lactobacilli* counts, total phenolic content, antioxidant activity and titratable acidity. Antioxidant activities in ke-

fir with cow milk and goat milk varied between 15.27 and 33.71 and between 9.00 and 20.45 ($\mu\text{mol Trolox Equivalent/L}$), respectively. Quinoa flour addition led to a decrease in the general appreciation score. The highest taste-aroma and general acceptability scores were obtained with the sample that included 1% inulin in both milk types.

The effects of milk supplementation with mango peels on the growth rates of kefir microorganisms during fermentation as well as the antioxidant properties of the obtained fermented products were evaluated (Vicenssuto, & de Castro, 2020). The results were comparatively evaluated between fermented samples with the presence of mango peels (KMP) and without them (KC). Significant increases ($p < 0.05$) in antioxidant activities for KMP were observed for all methods: 113% for DPPH-radical scavenging (10 h of fermentation), 153% for the Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP) assay (8 h of fermentation), 21% for ABTS-radical scavenging (6 h of fermentation) and 43% for Total Reducing Capacity (Folin-Ciocalteu method) (8 h of fermentation) compared to those of KC fermented samples. According to microbiological analyses, the KMP samples allowed microbial growth of up to 3-fold higher than the growth of KC samples, reaching counts of up to 108 CFU/mL for lactic acid bacteria.

DSC is a kind of by-product commonly discarded or utilized for feeding animals. The process of sesame oil extraction leads to the production of semidefatted sesame flour (SDSC), which containing 50% protein, high content of calcium (1.5 g/100 g), and crude fiber (10.8 g/100 g) (Maset et al., 2022).

RB is a by-product of rice milling industry and constitutes around 10% of the total weight of rough rice. It is primarily composed of aleurone, pericarp, sub aleurone layer and germ. Each year 90% of the RB produced in the world is utilized cheaply as a feed stock for cattle and poultry, and the rest is used for extraction of RB oil (Sohail, Rakha, Butt, Iqbal, & Rashid, 2017). The improper handling lead not only environmental pollution, but also wasting of resources.

The purpose of the study is to determine the impact of DSC and RB, which are rich in fiber, on properties of kefir, including physicochemical properties (pH, total titratable acidity, apparent viscosity) and microbial viability (*Lactobacillus*, *Lactococcus* and yeast).

Materials and methods. Kefir grains were obtained from private households in Tibet, China. Cow milk was supplied from Mengniu Dairy Group Co, Neimenggu, China. All chemicals were of analytical grade.

Sesame seeds (white) were procured from local market (Hezhou, Guangxi, China). DSC was obtained from sesame seed which was roasted at 120–130 °C for 10 min and pressed the fat. The flour was finely powdered and homogenized by sieving through fine screen (100 mesh). RB were procured from local market (Xingtai, Hebei, China). RB was homogenized by sieving through fine screen (200 mesh). RB was steam sterilized at 121 °C for 15 minutes before used.

Kefir was used as start culture at a ratio of 10% (v/v). In view of the significant negative influence of DSC and RB on the sensory quality of kefir, a small introduction ratio of DSC and RB were selected, namely 2% and 0.1%, respectively. Three samples were investigated: cow milk without additives (control sample), cow milk added with 2% amount of DSC, cow milk added with 0.1% amount of RB. All mixtures were fermented at 28 °C for 22 h until pH reached to 4.7, kefir samples were stored at 4 °C for 28 days.

The content of dietary fiber in all samples was studied. Microbial viability (*Lactobacillus*, *Lactococcus* and yeast) and physicochemical properties (total titratable acidity, apparent viscosity and pH) were studied for all samples. All the indexes were studied after 7, 14, 21, 28 days.

Proximate composition. The content of dietary fiber was measured according to (AOAC, 2000). The dried samples were digested with heat-stabilized α -amylase, protease and glucosidase to remove protein and starch. After ethanol precipitation and filtration, the residue was washed with ethanol and acetone, dried and weighed, which was the total dietary fiber residue. The total dietary fiber content in the sample can be calculated by deducting the corresponding protein, ash and reagent blank contents in the dietary fiber residue. The set for the test is dietary fiber determination system (CSF6, Italy).

The pH value was determined by a pH meter (METTLER TOLEDO LE438, Switzerland). The titratable acidity was measured by titrating 10 g of sample with 0.1 N NaOH using phenolphthalein indicator. The apparent viscosity of the samples was measured with a digital viscometer (NDJ-8S, Shanghai, China) (Putri, Setiani, & Warya, 2020). An appropriate rotor was selected, according to the viscosity of kefir, then the rotor was inserted into the kefir samples, and then an appropriate speed was selected. The torque generated by the rotor during rotation will be displayed by the instrument in the form of force, then the data obtained.

Microbiological analysis: 25 ml of sample was suspended in 225 ml sterile normal saline (0.85%, v/v) solution in a ratio of 1:9 (w/w) in a sterile bag. The mixture was homogenized in orbital shaker (Guansen 200JR, Shanghai, China) at 400 rpm for 1.0 min. Then, serial dilutions in normal saline (0.85%, w/v) were prepared, and proper dilution was transferred onto the appropriate media for each microorganism. The microbial loads of *Lactobacillus* were determined on Man-Rogosa-Sharpe agar, *Lactococcus* on M17 agar, yeast and molds on Potato Dextrose Agar. The plates were then incubated at 30 °C for 72 h for the detection of *Lactobacillus*, at 37 °C for 48 h for *Lactococcus*, at 28 °C for 5 days for yeast and molds. All microbiological incubations were carried out in incubators (BPC-150F, Shanghai, China). Colony counts were converted to log CFU/ml. Each sample for all measurements was replicated in twice (Goncu, Celikel, Guler-Akin, & Serdar Akin, 2017).

Statistical analysis. All experiments were replicated in three flasks and the data are presented as the mean and standard deviation of three independent experiments. Tukey's multiple range test (Du, 1985) was used to determine the significant differences among mean values at the $P = 0.05$ level. Statistical analyses were carried out using the Data Processing System soft-ware (DPS version 7.05, SAS Institute, Inc., 2000).

Presentation of the main results of the study. The introduction of RB and DSC could significantly improve the content of dietary fiber in kefir. Research data are shown in table 1.

Table 1. Content of dietary fiber in samples with additives of fiber

Samples	Control sample	Sample with 0.1% RB	Sample with 2% DSC
Content of fiber, %	0.01±0.00	0.03±0.002	0.68±0.11

The content of dietary fiber improved significantly ($P < 0.05$). Compared to control samples, the dietary fiber content in kefir added with 0.1% RB increased 3 times, and in kefir added with 2% RB increased 6.8 times.

The changes of pH and titratable acidity in different samples during 28 days are shown at figure 1 and figure 2.

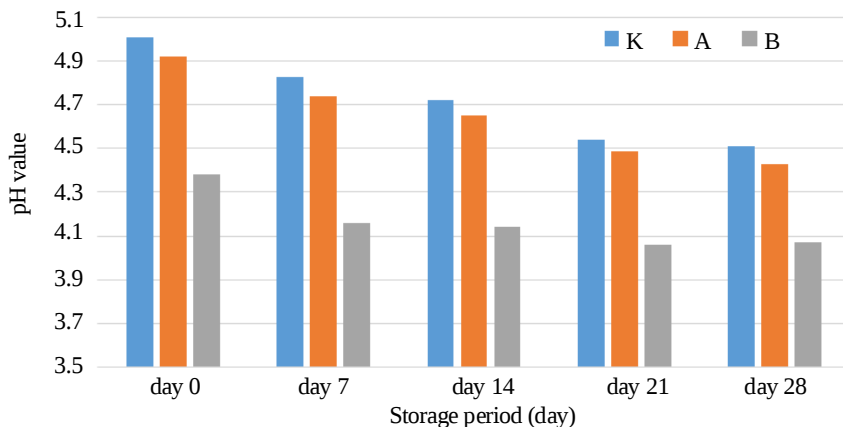


Figure 1. The changes of pH in samples with additives of fiber during 28 days

In the figure 2, K presented control samples, A presented kefir added with RB, B presented kefir added with DSC. The more amount of additives was added, the lower the value of pH was, the higher the value of titratable acidity was. pH of samples ranged between 3.93 and 5.01.

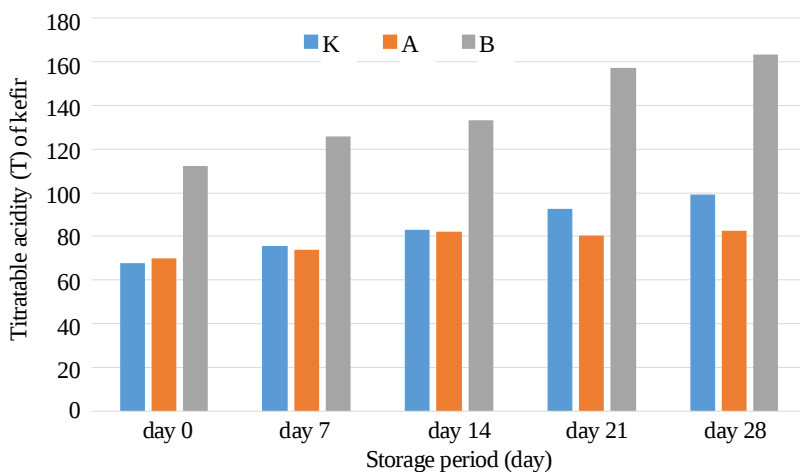


Figure 2. The changes of titratable acidity in samples with additives of fiber during 28 days

The titratable acidity ranged between 67.78 T and 163.52T. These dependences could be related to stimulation of lactic acid bacteria by fiber. The results have an agreement with previously obtained results by other scientists (do Espírito Santo, Perego, Converti, and Oliveira, 2012) who produced yoghurt with passion fruit fiber. Previous

studies have also demonstrated that kefir as a probiotic (Guzel-Seydim, Kok-Tas, Greene, & Seydim, 2011) and dietary fiber had a potential prebiotic effect (Shah, Li, Sabbah, Xu, & Mraz, 2020; Wu, et al., 2020).

The results of apparent viscosity are shown in figure 3. Compared to control sample, 2% amount of DSC increased the apparent viscosity of kefir ($p < 0.05$), so do as 0.1% amount of RB, which was caused by the adding amount of dry matter and the hydrophilicity of protein and fiber in DSC (Mudgil, & Barak, 2013; Ilyas, & Atalar, 2019). This is the most probably due to the effect of coverage of caseins with polysaccharides such as β -glucan, pectin etc. and stabilizing casein aggregates. These results are in agreement with findings of other scientists (Tseng, & Zhao, 2013) who reported that an increasing levels of addition wine grape pomace as prebiotic in yoghurts decreased apparent viscosity values. Also, there was stated (El-Batawy, Ashoush, & Mehanna, 2014) that increasing the concentration of pomegranate peel extracts decreased the viscosity values and these results are associated with effect of pomegranate peel extract on the aggregation of network in yoghurts via electrostatic interactions. On the other hand, there was reported (Güler-Akın, Ferliarslan, & Akın, 2016) that the yoghurts added with inulin had significantly higher apparent viscosity than the sample without it. Viscosity is an important technological property of fibers which provides rheological characteristics to food systems. SDF becomes viscous when mixed with water. Fibers, such as pectin, gums, β -glucans extracted from algae, form highly viscous solutions. They are used as thickening agents in foods at low concentrations. In the case of beverages and drinks, the addition of dietary fiber increases viscosity which leads to increased stability.

The apparent viscosity was the highest on the 7th day, and then kept steady during storage period ($p > 0.05$), this might be explained by the balance of sedimentation and hydrophilic interaction of DSC.

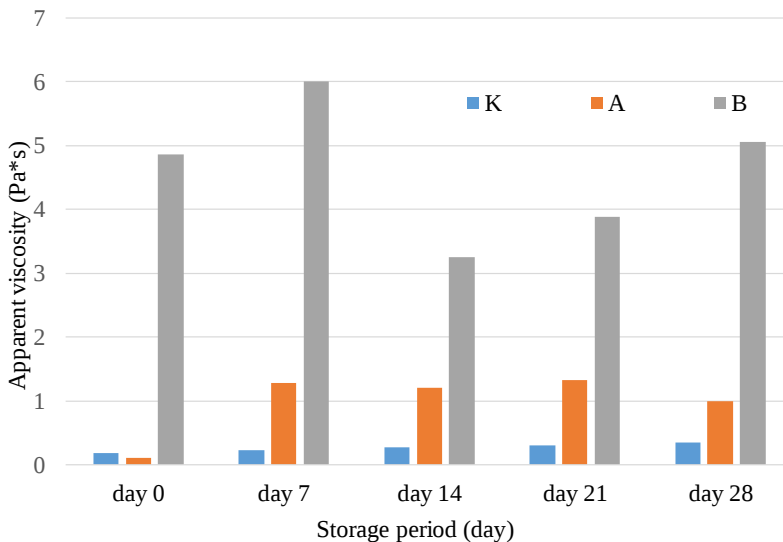


Figure 3. The changes of apparent viscosity in different samples in 28 days:
K — control samples; A — kefir added with RB; B — kefir added with DSC

The changes of the population of *Lactobacillus*, yeast and *Lactococcus* during 28 days are shown in figures 4–6. The *Lactobacillus* counts were between 8.04–9.15 log CFU mL⁻¹ during storage time; The *Lactococcus* counts were between 7.51–10.45 log CFU mL⁻¹ during storage time; yeast counts were between 7.95–10.11 log CFU mL⁻¹ during storage time. The introduction of DSC made no difference on the microbiological count, which may be due to the combined effect of the promotion of dietary fiber and the bacteriostasis of sesame phenolic substances on the growth of microorganisms. Scientists (Alfuryadi, Devanesan, Al-Ansari, AlSalhi, & Ranjitsingh, 2019) reported that DSC showed high activity against bacteria, authors also indicated that antimicrobial properties originate from phenolic compounds in DSC. Another reason of this reduction may be antagonistic effect of higher yeast content against lactic acid bacteria. The cocultured organism may compete for nutrients or produce metabolic products that stimulate or inhibit each other's growth (Santos, Libeck, & Schwan, 2014). Similar results were reported by (Montanuci, Pimentel, Garcia, & Prudencio, 2012).

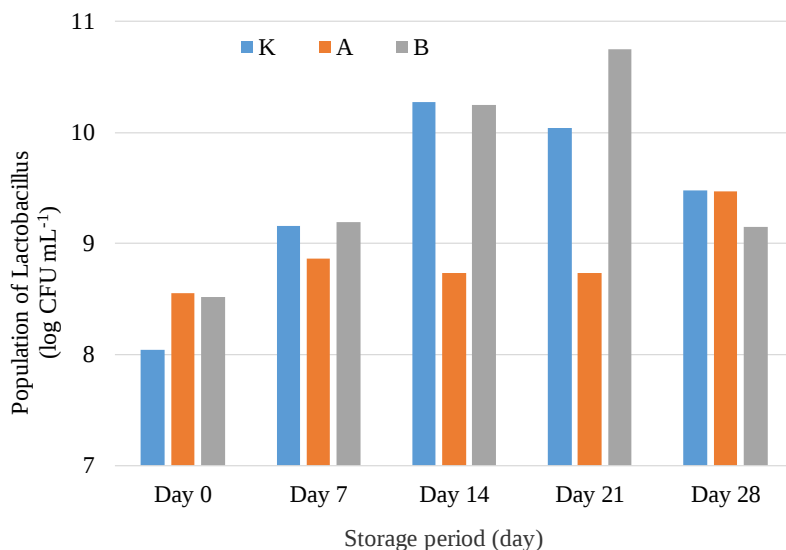


Figure 4. The population of *Lactobacillus* of kefir samples

Although there were differences in all samples for viable counts of lactococci during the first week of storage ($P < 0.05$), these differences weren't obvious, which indicated that the introduction of RB made little difference on the population of *Lactococcus*. The results were compatible with (Demirci, Aktaş, Sözeri, Öztürk, & Akın, 2017), who reported a slight decrease of *S. thermophilus* during storage of yoghurts added with RB. Storage period significantly affected the amount of *Lactococcus* ($P < 0.05$). As the prolonging of storage period, the amount of *Lactococcus* significantly decreased ($P < 0.05$) in the first two weeks, and kept steady in the following two weeks. The population of *Lactococcus* never declined less than 7.0 log CFU/mL.

Yeasts play an important role during kefir fermentation, because of end-products such as ethanol and carbon dioxide which would give kefir unique taste. The increase of population of yeast was more obvious in samples added with RB than control

sample during storage period. Such data indicated that RB positively stimulated growth of yeasts.

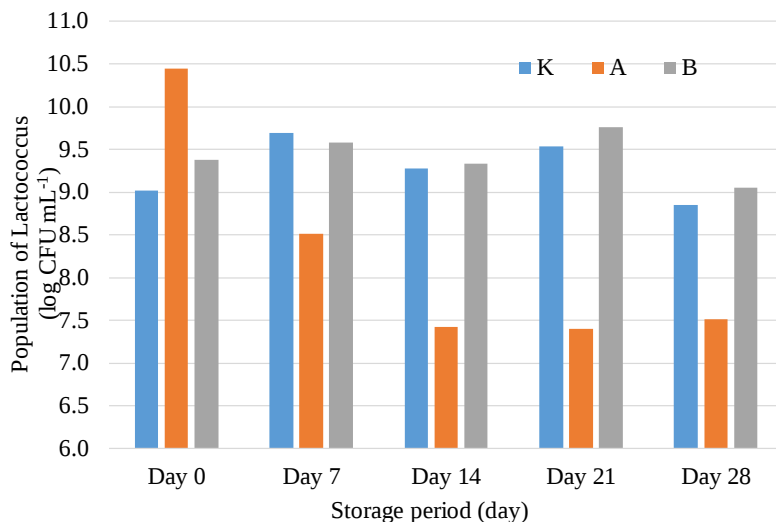


Figure 5. The population of Lactococcus of kefir samples

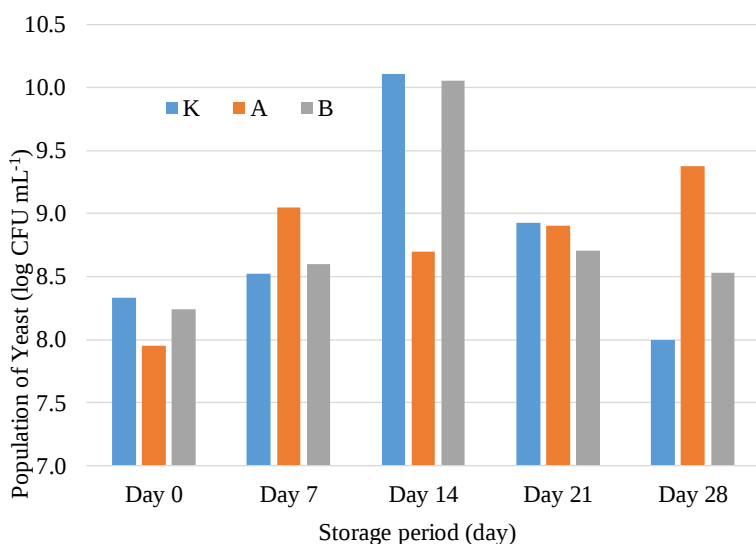


Figure 6. The population of yeast of kefir samples

Storage period apparently affected yeast counts in all samples ($P < 0.05$). Although insignificant differences were noted in samples during the first week, significant differences were found during the rest period of storage time ($P < 0.05$).

Conclusions

This study reported to application of DSC and RB in kefir formulations. Results showed that the introduction of DSC and RB improved the acidity by 9% and 75% and viscosity improved 6 times and 25 times, compared to control sample, mainly because of the dietary fiber in their recipe. Also, the introduction of DSC and RB improved the probiotics properties, *Lactococcus spp.* increased by 6% and 8% *Lactobacillus spp.* increased by 16% and 4%, and yeast increased by 7% and 1% compared to control sample on the 7th day. This study demonstrated that RB and DSC are appropriate by-products with desirable properties such as prebiotic potential and antioxidative contributions for functional dairy product manufacturers.

Literature

Alfuraydi, A. A., Devanesan, S., Al-Ansari, M., AlSalhi, M. S., Ranjitsingh, A. J. (2019). Eco-friendly green synthesis of silver nanoparticles from the sesame oil flour and its potential anticancer and antimicrobial activities. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 192, 83—89. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2019.01.011>.

AOAC. (2000). Methods of analysis (17th ed.). In. Washington DC: Association of Official Analytical Chemists. <https://doi.org/10.4236/ce.2020.118106>.

Aune, D., Chan, D. S., Greenwood, D. C., Vieira, A. R., Rosenblatt, D. A., Vieira, R., Norat, T. (2012). Dietary fiber and breast cancer risk: a systematic review and meta-analysis of prospective studies. *Annals of Oncology*, 3(6), 1394—1402. <https://doi.org/10.1093/annonc/mdr589>.

Demirci, T., Aktaş, K., Sözeri, D., Öztürk, H. İ., Akin, N. (2017). Rice bran improve probiotic viability in yoghurt and provide added antioxidative benefits. *Journal of Functional Foods*, 36, 396—403. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.07.019>.

do Espírito Santo, A. P., Perego, P., Converti, A., Oliveira, M. D. (2012). Influence of milk type and addition of passion fruit peel powder on fermentation kinetics, texture profile and bacterial viability in probiotic yoghurts. *LWT*, 47(2), 393—399. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.01.038>.

El-Batawy, O. I., Ashoush, I. S., Mehanna, N. S. (2014). Impact of mango and pomegranate peels supplementation on quality characteristics of yoghurt with or without whey powder. *OI El-Batawy, IS Ashoush Nayra Sh. Mehanna*, 9, 57—65. <https://doi.org/10.5829/idosi.wjdfs.2014.9.1.1133>.

Glibowski, P., Zielińska, E. (2015). Physicochemical and sensory properties of kefir containing inulin and oligofructose. *International Journal of Dairy Technology*, 68(4), 602—607. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12234>.

Goncu, B., Celikel, A., Guler-Akin, M. B., Serdar Akin, M. (2017). Some properties of kefir enriched with apple and lemon fiber. *Mljekarstvo: časopis za unaprjeđenje proizvodnje i prerade mlijeka*, 67(3), 208—216. <https://doi.org/10.15567/mljekarstvo.2017.0305>.

Güler-Akin, M. B., Ferliarslan, I., Akin, M. S. (2016). Apricot probiotic drinking yoghurt supplied with inulin and oat fiber. *Advances in Microbiology*, 6(14), 999. <http://dx.doi.org/10.4236/aim.2016.614094>.

Guzel-Seydim, Z. B., Kok-Tas, T., Greene, A. K., Seydim, A. C. (2011). Review: Functional Properties of Kefir. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 51(3), 261-268. doi: 10.1080/10408390903579029.

Atalar Ilyas (2019). Functional kefir production from high pressure homogenized hazelnut milk — Science Direct. *LWT*, 107(C), 256—263. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.03.013>.

Kef, S., Arslan, S. (2021). The effects of different dietary fiber use on the properties of kefir produced with cow's and goat's milk. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(6), e15467. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15467>.

Mas, A. L., Brigante, F. I., Salvucci, E., Ribotta, P., Martinez, M. L., Wunderlin, D. A., Baroni, M. V. (2022). Novel cookie formulation with defatted sesame flour: Evaluation of its technological and sensory properties. Changes in phenolic profile, antioxidant activity, and gut microbiota

after simulated gastrointestinal digestion. *Food Chemistry*, 389, 133122. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133122>.

Montanuci, F. D., Pimentel, T. C., Garcia, S., Prudencio, S. H. (2012). Effect of starter culture and inulin addition on microbial viability, texture, and chemical characteristics of whole or skim milk kefir. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 32, 850—861. <https://doi.org/10.1590/s0101-20612012005000119>.

Mudgil, D., Barak, S. (2013). Composition, properties and health benefits of indigestible carbohydrate polymers as dietary fiber: A review — Science Direct. *International Journal of Biological Macromolecules*, 61(10), 1—6. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2013.06.044>.

Ötles, S., Ozgoz, S. (2014). Health effects of dietary fiber. *Acta scientiarum polonorum. Technologia alimentaria*, 13(2), 191—202.

Ozcan, T., Kurtuldu, O. (2014). Influence of dietary fiber addition on the properties of probiotic yogurt. *International. Journal of Chemical Engineering and Applications*, 5(5), 397.

Putri, Y. D., Setiani, N. A., Warya, S. (2020). The effect of temperature, incubation and storage time on lactic acid content, pH and viscosity of goat milk kefir. *Current Research on Biosciences and Biotechnology*, 2(1), 101—104. <https://doi.org/10.5614/crb.2020.2.1/HPMQ5042>.

Santos, C. A., Libeck, B., Schwan, R. F. (2014). Co-culture fermentation of peanut-soy milk for the development of a novel functional beverage. *International Journal of Food Microbiology*, 186, 32—41. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2014.06.011.

Shah, B. R., Li, B., Sabbah, H. A., Xu, W., Mraz, J. (2020). Effects of prebiotic dietary fibers and probiotics on human health: With special focus on recent advancement in their encapsulated formulations. *Trends in Food Science & Technology*, 102, 178—192. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.06.010>.

Sohail, M., Rakha, A., Butt, M. S., Iqbal, M. J., Rashid, S. (2017). Rice bran nutraceuticals: A comprehensive review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(17), 3771—3780. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1164120>.

Tseng, A., Zhao, Y. (2013). Wine grape pomace as antioxidant dietary fibre for enhancing nutritional value and improving storability of yogurt and salad dressing. *Food chemistry*, 138(1), 356—365. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.09.148>.

Vicenssuto, G. M., de Castro, R. J. S. (2020). Development of a novel probiotic milk product with enhanced antioxidant properties using mango peel as a fermentation substrate. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 24, 101564. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101564>.

Wu, W., Hu, J., Gao, H., Chen, H., Fang, X., Mu, H., Han, Y., Liu, R. (2020). The potential cholesterol-lowering and prebiotic effects of bamboo shoot dietary fibers and their structural characteristics. *Food Chemistry*, 332, 127372. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127372>.

INFLUENCE OF ENZYMATIC TREATMENT PARAMETERS ON THE PRESS PUMPKIN OIL YIELD AND ITS PROPERTIES

H. Vovk, T. Nosenko

National University of Food Technologies

Key words:

Pumpkin seeds oil
Protease
Cellulose
Antioxidant capacity

Article history:

Received 03.01.2023
Received in revised form
19.01.2023
Accepted 31.01.2023

Corresponding author:

T. Nosenko

E-mail:

tamara_nosenko@ukr.net

ABSTRACT

The influence of parameters of pumpkin seeds pretreatment with enzyme preparations of proteolytic and cellulolytic activity on the yield of press oil, its composition and quality parameters were studied in this work. The enzyme preparation PENICILOPEPSIN (Enzym Biotech, Ukraine) with proteolytic activity and CELLULAD (Enzym Biotech, Ukraine) with cellulolytic, hemicellulase and xylanase activity were used for pretreatment. Enzymatic treatment of seeds was carried out with a mixture of these preparations at a ratio of 7:3 for 2 h at a pH 5.2 and 48—54°C. The following parameters of enzymatic pretreatment were studied: the amount of the enzyme mixture, which varied from 0.3% to 2.4% of the weight of the seeds and the amount of moisture added together with the enzymes — from 15% to 50%.

It was established that the rational parameters of the enzymatic treatment of pumpkin seeds are the mass of the enzyme mixture of 0.6% and the amount of moisture added with enzymes — 35% of the seed mass. Under such technological parameters, the yield of press pumpkin oil was 65.6%, which is almost 6% higher than in the control sample. The acid and anisidine value of the control oil sample and the oil extracted after the enzymatic treatment of the seeds did not differ significantly. However, the content of peroxide compounds in the oil extracted after enzymatic treatment of seeds was lower. The total antioxidant activity of the oil, determined by the reaction of the 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radicals quenching within 30 min, was higher in the oil samples after seed pretreatment at the maximum tested moisture (50%).

The obtained results indicate that the enzymatic pretreatment of pumpkin seeds with proteolytic and cellulolytic enzyme preparations is a promising method of oil yield increasing.

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ФЕРМЕНТАТИВНОЇ ОБРОБКИ НА ВИХІД ПРЕСОВОЇ ГАРБУЗОВОЇ ОЛІЇ ТА ЇЇ ВЛАСТИВОСТІ

Г. О. Вовк, Т. Т. Носенко

Національний університет харчових технологій

У статті досліджено вплив параметрів попередньої обробки гарбузового насіння ферментними препаратами протеолітичної та целюлолітичної дії на вихід пресової олії, її показники складу та якості. Для попередньої обробки були використані ензимний препарат ПЕНІЦИЛОПЕПСИН («Ензим Біотех», Україна) з протеолітичною активністю та ЦЕЛЮЛАД («Ензим Біотех», Україна) з целюлолітичною, геміцелюлазною та ксиланазною активністю. Ферментативну обробку насіння проводили сумішшю цих препаратів при співвідношенні 7:3 протягом 2 год при рН 5,2 і 48–54 °С. Досліджено вплив таких параметрів ферментативної обробки: кількості ферментної суміші, яку змінювали в межах від 0,3%, до 2,4% від маси насіння, та маси, внесеної разом з ферментами вологи в діапазоні від 15% до 50%.

Встановлено, що раціональними параметрами ферментативної обробки гарбузового насіння в дослідженому діапазоні є маса суміші ферментних препаратів ПЕНІЦИЛОПЕПСИН і ЦЕЛЮЛАД 0,6% від маси насіння та кількість внесеної з ферментами вологи 35% від маси насіння. За таких технологічних параметрів вихід пресової гарбузової олії становив 65,6%, що майже на 6% вище, ніж у контролі. Кислотне й анізидинове число контрольного зразка олії та олії, вилученої після ферментативної обробки насіння, суттєво не відрізнялись. Проте вміст пероксидних сполук в олії, вилученій після ферментативної обробки насіння, був нижчим. Загальна антиоксидантна активність олії, визначена за реакцією гасіння радикалів 2,2-дифеніл-1-пікрілгідразилу протягом 30 хв, була вищою в зразках олії після обробки насіння за максимальної дослідженої вологості (50%).

Одержані результати свідчать, що попередня ферментативна обробка насіння гарбуза протеолітичними та целюлолітичними ферментними препаратами є перспективним методом підвищення виходу олії.

Ключові слова: гарбузова олія, протеази, целюлази, антиоксидантна здатність.

Постановка проблеми. Актуальним завданням переробки насіння олійних культур є підвищення ефективності пресового вилучення олії. Переробка олійного насіння пресуванням — технологія сталого розвитку, оскільки для добування олії не використовується органічний розчинник (гексан, чи екстракційний бензин), енергетичні витрати суттєво нижчі порівняно із екстракцією олії розчинником, підвищується безпечність виробництва (вибухо- та пожежобезпечність). Крім того, пресова олія та макуха не містять залишків розчинника, така олія не потребує обов'язкового рафінування. Одним із методів підвищення виходу пресової олії є використання попередньої обробки олійного насіння пектолітичними, протеолітичними, геміцелюлолітичними та целюлолітичними фермен-

тами, які гідролізують вуглеводи клітинних стінок і протеїни мембран, сприяючи «звільненню» олеосом з рослинних клітин. Проте технології такої обробки потребують розроблення для кожної олійної сировини з урахуванням особливостей хімічного складу клітинних стінок, біологічних мембран і специфічності ферментних препаратів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У наукових працях було запропоновано використання ензимів для руйнування клітинних стінок насіння канולי перед екстракцією олії (Sosulski, Sosulsky, & Coxworth, 1988, Sosulski, & Sosulsky, 1993), кокосової копри (Cintra, Lopez-Munguia, & Vernon, 1986), соєвих бобів та насіння соняшнику (Dominguez, Nunez, & Lema, 1993). Використання цього методу перед пресуванням насіння сої вперше запропоновано у (Smith, Agrawal, Sarkar, & Singh, 1993). Згодом особливого розвитку набули дослідження щодо використання ферментативної обробки для підвищення ефективності так званого водного фракціонування олійного матеріалу (EAAE). Механізм такого процесу полягає в екстрагуванні олії з олійного насіння за рахунок ізолювання олеосом, виділення білків олійного насіння й твердого нерозчинного залишку насіння.

Високого виходу екстрагованої олії (88—99%) в присутності протеаз з екструдованих розмелених соєвих бобів або пластівців було досягнуто в (Lamsal, Murphy, & Johnson, 2006; de Moura та ін., 2008; de Moura, & Johnson, 2009; de Moura, Almeida, & Johnson, 2009; de Moura та ін., 2010; Freitas та ін., 1997). Механізм дії протеаз полягає в гідролізі нерозчинних білків, їх розчиненні, внаслідок чого звільняється додаткова кількість олії, заблокованої в окремих компартментах (Jung, & Mahfuz, 2009; Jung, Mahfuz, & Maurer, 2009). У (Yoon, 1991) автори вважають, що протеази руйнують протеїновий каркас, який оточує ліпосоми. У (Campbell, & Glatz, 2009) збільшення виходу олії під дією протеаз пояснюється тим, що вони запобігають утворенню адсорбційних шарів на поверхні ліпосом або ж у разі утворення низькомолекулярних пептидів швидше дифундують з міжфазних поверхонь і таким чином спричиняють руйнування жирових крапель. Отже, важливу роль у процесі водного екстрагування олії із соєвих бобів відіграє розчинність білків.

У разі використання целюлаз для водного екстрагування олії з екструдованих пластівців у дослідженнях (de Moura, 2008, Freitas, 1997) не було виявлено збільшення виходу олії, а в (Rosenthal, Pyle, & Niranjana, 1998) виявлено зменшення частки екстрагованої олії і білків під дією обробки целюлозами за значення рН 5, що, очевидно, пояснюється незворотною денатурацією білків.

Незважаючи на значну кількість досліджень щодо використання гідролітичних ферментів у процесах водного фракціонування олійного насіння, наразі ця технологія не знайшла практичного використання.

Попередня ензимна обробка олійного насіння може бути використана також для підготовки матеріалу до пресового вилучення олії. Позитивний вплив гідролітичних ферментів на вихід пресової бавовняної олії був виявлений у (Taha, & Hassanein, 2007), лляної олії (Anwar, Zreen, Sultana, & Jamil, 2013), бурячнику (Soto, Chamy, & Zuniga, 2007), ріпакової (Cherstva, Lastovetska, & Nosenko, 2016), гарбузової (Nosenko, Vovk, & Koroluk, 2019), абрикосових кісточок (Candan, & Arslan, 2021; Rajaram, Kumbhar, Singh, Lohani, & Shahi, 2012). У той же час у (Candan, & Arslan, 2021) не виявлено збільшення виходу олії холодного віджиму

після попередньої обробки насіння льону і виноградних кісточок пектолітичними, целюлолітичними та геміцелюлолітичними ферментами.

Мета статті: розроблення раціональних параметрів пресового вилучення гарбузової олії з використанням попередньої обробки насіння гарбузів сумішшю ферментативних препаратів з протеолітичною, целюлолітичною, геміцелюлолітичною та ксиланазною активністю.

Матеріали і методи. Пеніцилопепсин — сухий ферментний препарат грибної протеази, отриманої шляхом спрямованої ферментації селекційного штаму *Pen. canescens* з подальшим очищенням і концентруванням («ЕнзимБіотех», Україна). Пеніцилопепсин каталізує гідроліз високомолекулярних білків з утворенням низькомолекулярних пептидів, є стабільним у присутності хелатуючих агентів, таких як EDTA, і має низьку сприйнятливість до триполіфосфатів, наявність іонів кальцію збільшує стабільність при 30 °С. Робочий діапазон температур та рН — 20—60 °С та 3,0—6,0 відповідно, оптимальні діапазони температур та рН — 40—50 °С та 4,0—5,0 відповідно, активність — 50 од/г.

Целюлад — сухий ферментний препарат, одержаний згідно з ТУ У 24.1-32813696-016:2008 («Ензим», Україна). Крім основної активності целюлази, препарат також містить значні кількості геміцелюлази та ксиланаз. Робочий діапазон температур та рН — 40—50 °С та 5,5—6,5 відповідно, активність — не менше 10000 од/г.

Дослідження проводились зі зразками насіння гарбуза звичайного.

Вилучення олії з насіння пресовим методом проводили за допомогою лабораторного шнекового пресу «Маслячок» ПШУ-4. Пресування проводили за температури (80 ± 20) °С залежно від виду олійного матеріалу та способу його попередньої обробки. Вилучену олію зважували та визначали вихід олії у відсотках до маси насіння в перерахунку на олійність насіння.

Визначення олійності насіння проводили вичерпною екстракцією в апараті Соксклета NZ 45/40 з використанням петролейного ефіру. Тривалість екстракції становила 8 годин.

Кислотне число одержаної гарбузової олії визначали згідно з ДСТУ EN ISO 660:2019 «Жири тваринні і рослинні та олії. Визначення кислотного числа та кислотності».

Пероксидне число пресової гарбузової олії визначали згідно з ДСТУ 4570:2006 «Жири рослинні та олії. Метод визначання пероксидного числа».

Анізидинове число гарбузової олії визначали згідно з ДСТУ EN ISO 6885:2019 «Жири тваринні і рослинні та олії. Визначення анізидинового числа».

Визначення антиоксидантної активності одержаної гарбузової олії проводили за реакцією гасіння радикалів 2,2-дифеніл-1-пікрілгідразилу (DPPH) (Носенко, Музика, Циганкова, Левчук, & Маринченко, 2019). Для реакції використовували розчин 2,2-дифеніл-1-пікрілгідразилу концентрацією 3 мг/100 мл в етилацетаті, який мав значення оптичної густини на довжині хвилі 520 нм в межах 0,7—0,9.

Для приготування реакційної суміші до 100 мг олії додавали розчин DPPH в етилацетаті, ретельно перемішували та визначали початкове значення оптичної густини реакційної суміші на довжині хвилі 520 нм (D_0). Реакційну суміш витримували без доступу світла та визначали оптичну густину на 520 нм (D_1) через заданий інтервал часу. Антиоксидантну активність (A) розраховували за зміною

оптичної густини протягом 30 хв (Носенко, Музика, Циганкова, Левчук, & Маринченко, 2019):

$$A = \left[1 - \frac{D_1}{D_0} \right] \cdot 100.$$

Викладення основних результатів дослідження. Досліджено вплив таких параметрів попередньої ферментативної обробки гарбузового насіння, як кількість ферментної суміші та вологості, що вносились для обробки. Волога — важливий фактор, необхідний не лише для волого-теплової обробки насіння, але й без якого була б неможливою реакція гідролізу компонентів клітин насіння під час його обробки протеазами та целюлазами. Водночас надмірна кількість внесеної з ферментами води є вкрай небажаною, оскільки вона значно збільшить витрати часу та енергії на висушування матеріалу, аби довести його до необхідного для пресування значення вологості. Через це процес стане технологічно складнішим і економічно не вигідним.

Дослідні зразки подрібненого гарбузового насіння попередньо були оброблені водними розчинами сумішей ферментних препаратів з протеолітичною та целюлолітичною активністю при співвідношенні 7:3 протягом 2 год при рН 5,2 та 48—54 °С. Було досліджено вплив кількості ферментної суміші та вологості, внесеної для попередньої обробки гарбузового насіння, на ефективність пресування матеріалу. Кількість ферментів коливалась в межах від 0,3%, до 2,4% від маси насіння, кількість внесеної разом з ферментами води — від 15% до 50%. Після ферментативної обробки насіння висушували у сушильній шафі за температури 100—105 °С протягом 30—150 хв до кінцевої вологості подрібненого насіння 6—7%. Контрольні зразки насіння були оброблені за тих самих умов, але без внесення ферментів. Кількості протеолітичних і целюлолітичних ферментів, внесених для обробки гарбузового насіння, а також кількості води, внесеної разом з ферментами, наведено в табл. 1.

Було виявлено, що найвищий вихід олії (65,6%) досягнутий при загальній кількості доданої під час обробки ферментної суміші (0,6 %) від маси зразка насіння та кількості внесеної з ферментами води (35 %).

Таблиця 1. Вплив попередньої ферментативної обробки гарбузового насіння на вихід пресової олії

Маса ферментної суміші для обробки насіння, % від маси насіння	Кількість внесеної з ферментами води, %	Вихід олії, % від вмісту олії в насінні
1	2	3
0,3	50	60,5 ± 0,1
0,6	50	63,0 ± 0,1
1,2	50	62,2 ± 0,1
1,8	50	62,6 ± 0,2
2,4	50	61,6 ± 0,1
0,6	35	65,6 ± 0,1
1,2	35	60,0 ± 0,1
0,6	25	62,8 ± 0,1

1	2	3
1,2	25	60,5 ± 0,2
0,6	15	60,4 ± 0,2
1,2	15	60,7 ± 0,1
0	50	59,9 ± 0,1
0	35	59,9 ± 0,1
0	25	60,1 ± 0,1
0	15	60,3 ± 0,2

Відомо, що тривалий контакт олійного матеріалу з вільною вологою може викликати процеси гідролізу олії, що негативно впливає на якість олії. У багатьох дослідженнях, присвячених розробці технології попередньої ферментативної обробки перед пресуванням для насіння різних олійних культур, кількість доданої до субстрату води під час ферментативного гідролізу намагалися максимально скоротити, зокрема, до співвідношення субстрат:вода — 1:1, або до 45—50% від маси субстрату (Kaseke, Opara, & Fawole, 2021; Kubaychuk, Nosenko, & Cherstva, 2016; Latif, Anwar, & Ashraf, 2007; Bargale, Sosulski, & Sosulski, 2000; Latif, & Anwar, 2009). Одержані дані свідчать, що при зменшенні кількості внесеної з ферментами води від 25 до 15% вихід олії поступово знижується з 62,81% до 60,41% відповідно, тоді як при підвищенні кількості доданої води від 35 до 50% збільшення виходу олії не спостерігалось. У (Rajaram, Kumbhar, Singh, Lohani, & Shahi, 2012) проводили попередню ферментативну обробку абрикосових кісточок пектоллітичними та целюлолітичними ферментами при кількості внесеної під час гідролізу води від 20% до 32%. Найбільше зростання виходу олії (2,53%) було одержано при 23% внесеної води щодо маси субстрату. Ферментативний гідроліз насіння борщівника ферментними препаратами Olivex та Celluclast здійснювали за вологості від 20% до 50% (Soto, Chamy, & Zuniga, 2007). Найвищий вихід олії 85,5% був виявлений при кількості доданої води 20%. Під час ферментативної обробки насіння ріпаку, соняшнику, кунжуту, бавовни, коноплі, *Moringaoleifera* та *Moringaconcanensis* було встановлено, що оптимальною для більшості з цих культур виявилася кількість внесеної води під час гідролізу в діапазоні від 35 до 45% (Candan, & Arslan, 2021).

Іншим важливим параметром попередньої ферментативної обробки насіння є кількість доданої ферментної суміші. Відомо, що зі збільшенням концентрації ферменту швидкість і глибина проходження реакції, яку він каталізує, зростає. Однак ця закономірність зберігається лише до моменту повного насичення ферментом відповідних хімічних зв'язків субстрату, після чого збільшення кількості ферменту вже не буде ефективним (Kumar та ін., 2017). До того ж надмірне підвищення концентрації ферментів буде економічно не вигідним у зв'язку з їх високою вартістю. Надлишкова кількість ферменту також може призвести до гідролізу полісахаридів та утворення вільних редуруючих цукрів, які будуть карамелізуватися під час сушіння олійного матеріалу безпосередньо перед пресуванням і можуть перешкоджати вилученню олії, що, відповідно, призведе до зменшення її виходу. Крім того, надмірне збільшення концентрації ферментів може призвести до погіршення органолептичних властивостей готового продукту, спричинити виникнення сторонніх запахів і гіркоти.

Як свідчать одержані результати дослідження (табл. 1), в дослідженому діапазоні оптимальною кількістю внесеної ферментної суміші є 0,6% від маси насіння. Збільшення чи зменшення кількості доданих ферментів супроводжувалось зниженням виходу олії. Аналогічно, під час попередньої ферментативної обробки перед пресуванням насіння ріпаку з використанням суміші ферментних препаратів Protolad та Celulad в кількості від 0,4% до 1,4% від маси субстрату найбільш оптимальною виявилась концентрація ферментів 0,4%, вихід олії при цьому коливався в межах від 32,2 до 45,9% залежно від інших параметрів, таких як тривалість ферментації та вміст води перед пресуванням (Cherstva, Lastovetska, & Nosenko, 2016; Kubaychuk, Nosenko, & Cherstva, 2015). У праці (Nosenko, Vovk, & Koroluk, 2019) попередню ферментативну обробку гарбузового насіння було здійснено із застосуванням концентрації ферментної суміші 0,6% від маси насіння, одержаний вихід пресової олії становив 28,2%.

Дослідження фізико-хімічних показників одержаної пресової олії (табл. 2) показали, що попередня ферментативна обробка гарбузового насіння не має істотного впливу на кислотність олії та вміст карбонільних сполук (анізидинове число).

Таблиця 2. Вплив попередньої ферментативної обробки гарбузового насіння на фізико-хімічні показники якості олії

Маса ферментної суміші для обробки насіння, % від маси насіння	Кількість внесеної з ферментами води, %	Фізико-хімічні показники якості пресової олії		
		кислотне число, мг КОН/г	пероксидне число, ммоль ½ О/кг	анізидинове число
0,3	50	1,20 ± 0,13	0,55 ± 0,07	1,60 ± 0,04
0,6	50	1,30 ± 0,11	0,67 ± 0,04	1,20 ± 0,03
1,2	50	1,50 ± 0,08	0,47 ± 0,05	1,40 ± 0,05
1,8	50	1,30 ± 0,10	0,38 ± 0,08	1,30 ± 0,02
2,4	50	1,60 ± 0,11	0,97 ± 0,02	1,30 ± 0,03
0,6	35	1,30 ± 0,13	0,62 ± 0,06	1,20 ± 0,02
1,2	35	1,40 ± 0,12	0,51 ± 0,03	1,10 ± 0,02
0,6	25	1,20 ± 0,13	0,64 ± 0,04	1,20 ± 0,04
1,2	25	1,50 ± 0,09	0,54 ± 0,05	1,30 ± 0,06
0,6	15	1,20 ± 0,11	0,70 ± 0,06	1,00 ± 0,03
1,2	15	1,30 ± 0,10	0,49 ± 0,02	1,10 ± 0,05
0	50	1,60 ± 0,12	0,98 ± 0,02	1,60 ± 0,02
0	35	1,30 ± 0,13	0,74 ± 0,07	1,50 ± 0,04
0	25	1,20 ± 0,10	0,83 ± 0,03	1,40 ± 0,03
0	15	1,30 ± 0,09	0,69 ± 0,05	1,40 ± 0,02

Варто зазначити, що в працях, присвячених ферментативній обробці ріпакового та гарбузового насіння перед пресуванням, не було виявлено суттєвих змін кислотного числа одержаних олій порівняно з оліями, одержаними традиційним способом пресування (Cherstva, Lastovetska, & Nosenko, 2016; Nosenko, Vovk, & Koroluk, 2019). Водночас спостерігається незначне зменшення пероксидного числа в зразках олії, одержаної з ферментованих зразків насіння, порівняно з контрольними зразками олії. Це може бути пов'язано з імовірним підвищенням анти-

окисидантних властивостей олії внаслідок попередньої ферментативної обробки насіння, оскільки, під час ферментації, як відомо, руйнуються комплексні сполуки, утворені полісахаридами й токоферолами насіння, які є потужними природними антиоксидантами, що спричиняє вилучення токоферолів у олійну фазу (Latif, & Anwar, 2009).

Під час визначення загальної антиоксидантної активності олії за реакцією гасіння радикалів 2,2-дифеніл-1-пікрілгідразилу (DPPH) протягом 30 хв було виявлено, що зменшення кількості внесеної ферментної суміші та вологи одночасно призводить до зниження антиоксидантної активності (табл. 3).

Таблиця 3. Вплив попередньої ферментативної обробки гарбузового насіння на антиоксидантні властивості олії

Маса ферментної суміші для обробки насіння, % від маси насіння	Кількість внесеної з ферментами вологи, %	Антиоксидантна активність олії (DPPH після 30 хв), %
0,3	50	26,61 ± 0,03
0,6	50	33,14 ± 0,08
1,2	50	30,56 ± 0,05
1,8	50	32,35 ± 0,03
2,4	50	22,84 ± 0,03
0,6	35	18,79 ± 0,04
1,2	35	20,45 ± 0,01
0,6	25	22,18 ± 0,04
1,2	25	27,15 ± 0,05
0,6	15	19,88 ± 0,02
1,2	15	19,93 ± 0,02
0	50	29,74 ± 0,06
0	35	16,26 ± 0,01
0	25	26,97 ± 0,01
0	15	20,11 ± 0,03

Збільшення антиоксидантної активності олії, одержаної після попередньої ферментативної обробки гарбузового насіння, підтверджено також кінетикою реакції гасіння вільних радикалів DPPH' розчинами олії, одержаної з контрольних і проферментованих зразків гарбузового насіння при кількості внесеної з ферментами вологи 35% (див. рисунок).

Антиоксидантна активність олії, одержаної шляхом ферментації гарбузового насіння (кількість внесеної вологи 35%), та контрольних зразків олії була практично однаковою протягом першої («швидкої») стадії реакції та вища в кожній точці вимірювання в олії з проферментованого насіння порівняно з контролем під час другої («повільної») стадії.

Це, імовірно, пов'язано з тим, що для руйнування комплексів полісахаридів і токоферолів насіння необхідний більш інтенсивний перебіг реакції гідролізу, що, у свою чергу, вимагає внесення до реакційної суміші більшої кількості ферментів і вологи.

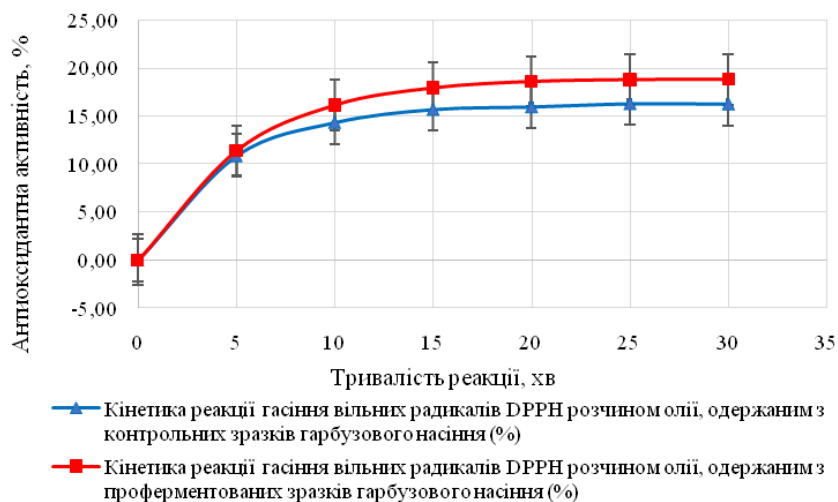


Рис. Кінетика реакції гасіння вільних радикалів DPPH розчинами олії, одержаними з контрольних і проферментованих зразків гарбузового насіння при кількості внесеної ферментної суміші 0,6% та вологи 35%

Висновки

З огляду на одержані результати, раціональними параметрами для попередньої ферментативної обробки насіння гарбузів сумішшю ферментних препаратів з протеолітичною та целюлолітичною активністю при співвідношенні 7:3 протягом 2 год при рН 5,2 та 48—54 °С є: кількість внесеної ферментної суміші 0,6% та кількість внесеної з ферментами вологи 35% від маси насіння. Використання таких технологічних параметрів надало можливість вилучити 65,6% олії, що майже на 6% вище, ніж у контролі. Гарбузова олія, вилучена за таких умов, мала вищу окиснювальну стійкість.

Отже, попередня ферментативна обробка насіння гарбузів протеолітичними та целюлолітичними ферментними препаратами є перспективним методом підвищення виходу олії.

Подяка. Робота виконана за фінансової підтримки Міністерства освіти і науки України (Договір № М/51-2022, 24.05.2022).

Література

- Носенко, Т. Т., Музика, О. С., Циганкова, Г. А., Левчук, І. В., Маринченко, І. О. (2019). Особливості складу олії із насіння ненаркотичних конопель вітчизняної селекції. *Наукові праці НУХТ*, 25(5), 173—180.
- Anwar, F., Zreen, Z., Sultana, B., Jamil, A. (2013). Enzyme-aided cold pressing of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.): Enhancement in yield, quality and phenolics of the oil. *Grasas y Aceites*. 64(5), 463—471.
- Bargale, P. C., Sosulski, K., Sosulski, F. W. (2000). Enzymatic hydrolysis of soybean for solvent and mechanical oil extraction. *Journal of Food Process Engineering*. 23, 321—327.
- Campbell, K. A., Glatz, C. E. (2009). Mechanisms of aqueous extraction of soybean oil. *J. Agric. Food Chem.*, 57(22), 10904—10912.

- Candan, A., Arslan, D. (2021). Enzymatic pre-treatment in cold pressing: Influence on flaxseed, apricot kernel and grape seed oils. *Grasas y Aceites*, 72(4).
- Cintra, M. O., Lopez-Munguia, A., Vernon, J. (1986). Coconut oil extraction by a new enzymatic process. *Journal of Food Science*, 51, 695—697.
- Cherstva, A., Lastovetska, A., Nosenko, T. (2016). Using of enzymes to extract of rapeseed oil by pressing. *Ukrainian Journal of Food Science*, 4(1), 85—93.
- Dominguez, H., Nunez, M. J., Lema, J. M. (1993). Oil extractability from enzymatically treated soybean and sunflower: range of operational variables. *Food Chemistry*, 46, 277—284.
- Freitas, P. S., Couri, L., Janklonka, F. (1997). The combined application of extrusion and enzymatic technology for extraction of soybean oil. *Lipid/Fett*, 99(9), 333—337.
- Jung, S., Mahfuz, A. (2009). Low temperature dry extrusion and high-pressure processing prior to enzyme-assisted aqueous extraction of full fat soybean flakes. *Food Chemistry*, 14(3), 947—954.
- Jung, S., Mahfuz, A., Maurer, D. (2009). Structure, protein interactions and in vitro protease accessibility of extruded and pressurized full-fat soybean flakes. *Journal of American Oil Chemist's Society*, 86(3), 475—483.
- Kaseke, T., Opara, U. L., Fawole, O. A. (2016). Effects of enzymatic pretreatment of seeds on the physicochemical properties, bioactive compounds, and antioxidant activity of pomegranate seed oil. *Molecule*, 26, 4575.
- Kubaychuk, O., Nosenko, T., Cherstva, A. (2016) Optimization of enzymatic processing of rapeseed. *Int. J. Adv. Res.*, 4(9), 1736—1740.
- Kumar, S. P. J., Prasad, S. R., Banerjee, R., Agarwal, D. K., Kulkarni, K. S., Ramesh, K. V. (2017). Green solvents and technologies for oil extraction from oilseeds. *Chemistry Central Journal*, 11(9), 1—7.
- Lamsal, B. P., Murphy, P. A., Johnson, L. A. (2006). Flaking and extrusion as mechanical treatments for enzyme-assisted aqueous extraction of oil from soybeans. *Journal of American Oil Chemist's Society*, 83(11), 973—979.
- Latif, S., Anwar, F. (2009). Physicochemical studies of hemp (*Cannabis sativa*) seed oil using enzyme-assisted cold-pressing. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 111, 1042—1048.
- Latif, S., Anwar, F., Ashraf M. (2007). Characterization of enzyme-assisted cold-pressed cottonseed oil. *Journal of Food Lipids*, 14, 424—436.
- De Moura, J. M., Almeida, N. M., Johnson, L. A. (2009). Scale-up of enzyme-assisted aqueous extraction processing of soybeans. *Journal of American Oil Chemist's Society*, 86(8), 809—815.
- De Moura, J. M., Almeida, N. M., Jung, S. (2010). Flaking as a pretreatment for enzyme-assisted aqueous extraction processing of soybeans. *Journal of American Oil Chemist's Society*, 87(12), 1507—1515.
- De Moura, J. M., Campbell, K. A., Mahfuz, A. (2008). Enzyme-assisted aqueous extraction of oil and protein from soybeans and cream de-emulsification. *Journal of American Oil Chemist's Society*, 85, 985—995.
- De Moura, J. M., Johnson, L. A. (2009). Two-stage countercurrent enzyme-assisted aqueous extraction processing of oil and protein from soybeans. *Journal of American Oil Chemist's Society*, 86(3), 283—289.
- Nosenko, T., Vovk, G., Koroluk, T. (2019). Effect of hydrolytic enzymes pretreatment on the oil extraction from pumpkin seeds. *Ukrainian Food Journal*, 8(1), 80—88.
- M. R. Rajaram, B. K. Kumbhar, A. Singh, U. C. Lohani, N. C. Shahi. (2012). Optimization of parameters for enhanced oil recovery from enzyme treated wild apricot kernels. *J. Food Sci. Technol.*, 49(4), 482—488.
- Rosenthal, A., Pyle, D. L., Niranjana, K. (1998). Simultaneous aqueous extraction of oil and protein from soybean: mechanisms for process design. *Food Bioprod. Proc.*, 76(4), 224—230.
- Smith, D. D., Agrawal, Y. C., Sarkar, B. C., Singh, B. N. P. (1993). Enzymatic hydrolysis pretreatment for mechanical expelling of soybeans. *Journal of American Oil Chemist's Society*, 70, 885—890.
- Sosulski, K., Sosulsky, F. W., Coxworth, E. (1988). Carbohydrate hydrolysis of canola oil prior to oil extraction with hexane. *Journal of American Oil Chemist's Society*, 65, 357—361.

Sosulski, K., Sosulsky, F. W., (1993). Enzyme-aided vs. two-stage processing of canola: technology, product quality and cost evaluation. *Journal of the American Oil Chemist's Society*, 70, 825—829.

Soto, C., Chamy, R., Zuniga, M. E. (2007). Enzymatic hydrolysis and pressing conditions effect on borage oil extraction by cold pressing. *Food Chemistry*, 102, 834—840.

Taha, F. S., Hassanein, M. M. (2007). Pretreatment of cottonseed flakes with proteases and an amylase for higher oil yields. *Grasas y Aceites*, 58(3), 297—306.

Yoon, S. H., Kim, I. H., Kim, S. H. (1991). Effects of enzyme treatments and ultrasonification on extraction yields of lipids and proteins from soybean by aqueous process. *Korean J. Food Sci. Technol.*, 23(6), 673—676.

ASSESSMENT OF THE QUALITY OF MARMALADE WITH THE ADDITION OF MULTICOMPONENT FRUIT AND BERRY PASTE

O. Samokhvalova, K. Kasabova, O. Shydakova-Kameniuka, O. Zagorulko, A. Zahorulko

State Biotechnological University

Key words:

*Fruit jelly marmalade
Fruit and berry paste
Quality indicators
Complex indicator
Biological value*

Article history:

Received 09.01.2023
Received in revised form
23.01.2023
Accepted 03.08.2023

Corresponding author:

O. Samokhvalova

E-mail:

sam55ov@gmail.com

ABSTRACT

Today, the manufacturers of the confectionery industry increasingly focus on the production of products with the addition of various types of fruit and berry raw materials, which are characterized by a high content of physiologically valuable nutrients. Traditionally, such raw materials are used in the technologies of marmalade and paste swirls in the form of pastes, purees and stews. Technologies for obtaining such products involve the use of preservatives, the excessive entry of which into the human body is undesirable. Also, during their production, high temperatures are used (boiling, pasteurization, sterilization), which leads to a decrease in the content of some vitamins, causes the destruction of polyphenolic compounds and the loss of the product's original taste and aroma.

Considering this, it is relevant to study the possibility of preserving the natural properties of fruit and berry raw materials by using gentle technological modes for its processing, in particular, low-temperature processing.

The quality of the developed jelly-fruit marmalade technology with the replacement of 30% of the recipe fruit puree with a multi-component fruit and berry paste was evaluated. The fruit and berry paste is a blended composition of apple-quince-blackcurrant (40:50:10) concentrated in a rotary film apparatus under gentle conditions (temperature 45...50 °C), which contributes to the maximum preservation of the substances of the derived raw materials.

The physico-chemical parameters of the studied marmalades are characterized by close values and are at the level regulated by regulatory documentation. Also, the new product has a higher content of pectin substances (1.5 times), vitamin C (4.8 times) and polyphenols (5.4 times) compared to the control sample. According to the value of the integrated quality assessment index, which took into account group indicators (organoleptic, physico-chemical, biological value), the proposed marmalade exceeds the sample made by classical technology by 39%. Thus, the improved marmalade technology is competitive.

ОЦІНКА ЯКОСТІ МАРМЕЛАДУ З ДОДАВАННЯМ БАГАТОКОМПОНЕНТНОЇ ПЛОДОВО-ЯГІДНОЇ ПАСТИ

О. В. Самохвалова, К. Р. Касабова, О. Г. Шидакова-Каменюка,
О. Є. Загорулько, А. М. Загорулько

Державний біотехнологічний університет

На сьогодні виробники кондитерської галузі все більше акцентують увагу на виготовленні продукції з додаванням різних видів плодово-ягідної сировини, яка характеризується високим вмістом фізіологічно цінних нутрієнтів. Традиційно така сировина застосовується в технологіях мармеладно-пастильних виробів у вигляді паст, пюре і підварок. Технології отримання таких продуктів передбачають використання консервуючих добавок, надмірне надходження яких до організму людини є небажаним. Також під час їх виготовлення застосовують високі температури (уварювання, пастеризацію, стерилізацію), що призводить до зниження вмісту деяких вітамінів, спричиняє руйнування поліфенольних сполук і втрату продуктом первинного смаку й аромату.

Зважаючи на це, актуальним є вивчення можливості збереження природних властивостей плодово-ягідної сировини шляхом використання для її переробки щадних технологічних режимів, зокрема низькотемпературної обробки.

У статті проведено оцінку якості розробленої технології мармеладу желейно-фруктового із заміною 30% рецептурного фруктового пюре багатокомпонентною плодово-ягідною пастою, отриманою з яблук, айви і чорної смородини у співвідношенні 40:50:10, яка сконцентрована в роторному плівковому апараті за щадних режимів (температура 45...50 °C), що сприяє максимальному збереженню речовин похідної сировини.

Встановлено, що розроблений мармелад децю переверщує контрольний за смаковими та кольоровими характеристиками. Фізико-хімічні показники досліджуваних мармеладів характеризуються близькими значеннями і знаходяться на рівні, регламентованому нормативною документацією. Також новому виробу властивий вищий, порівняно з контролем, вміст пектинових речовин (у 1,5 раза), вітаміну С (у 4,8 раза) та поліфенолів (у 5,4 раза). За значенням показника комплексної оцінки якості, що враховувала групові показники (органолептичні, фізико-хімічні, біологічну цінність), запропонований мармелад перевищує зразок, виготовлений за класичною технологією, на 39%. Отже, вдосконалена технологія мармеладу є конкурентоспроможною.

Ключові слова: мармелад фруктово-желейний, плодово-ягідна паста, показники якості, комплексний показник, біологічна цінність.

Постановка проблеми. Значну роль у формуванні здоров'я людини відіграють соціальні чинники, до яких відноситься стан навколишнього середовища та спосіб життя, що охоплює й харчування. Збільшення техногенного навантаження на навколишнє середовище спричиняє його контамінацію радіонуклідами, солями важких металів та іншими токсичними речовинами, які надходять до організму людини та чинять на нього негативний вплив. Одним із шляхів нівелюван-

ня цього впливу є споживання харчових продуктів, що містять інгредієнти, здатні адсорбувати такі сполуки, наприклад, пектини (Mehrandish, Rahimian, & Shahriary, 2019) або зв'язувати їх у нешкідливу форму, наприклад, поліфеноли (Ghasemzadeh, & Ghasemzadeh, 2011). З огляду на підвищення рівня харчової грамотності споживачів така продукція користується все більшим попитом, що не можуть не враховувати виробники, які все більше уваги приділяють створенню продуктів харчування з додаванням різних видів плодово-ягідної сировини, що характеризується високим вмістом зазначених нутрієнтів. Крім того, до складу плодів і ягід входять вітаміни, мінеральні речовини, органічні кислоти, що також позитивно впливають на фізіологічні процеси в організмі людини.

Оскільки плоди та ягоди обмежені сезонністю виробництва та незначними термінами зберігання, найчастіше їх використовують у переробленому вигляді (пюре, підварки, припаси тощо). Технології отримання таких продуктів передбачають використання консервуючих добавок (бензойна, сірчиста, саліцилова кислоти тощо), надмірне надходження яких для організму людини є небажаним, також під час їх виготовлення застосовують високі температури (уварювання, пастеризація, стерилізація), що призводить до зниження вмісту деяких вітамінів, спричиняє руйнування поліфенольних сполук і втрату продуктом первинного смаку й аромату.

Зважаючи на це, актуальним є вивчення можливості збереження природних властивостей плодово-ягідної сировини (вміст корисних речовин, смакові характеристики, аромат) шляхом використання для її переробки щадних технологічних режимів, зокрема низькотемпературної обробки.

Продукти переробки плодово-ягідної сировини традиційно широко використовуються в кондитерській промисловості, зокрема під час виготовлення зефіру, пастили та мармеладу. Наразі саме мармелад є одним з найбільш поширених і доступних кондитерських виробів, що пов'язано з його високими органолептичними властивостями та меншою енергетичною цінністю порівняно з іншими видами кондитерської продукції (Wolf, 2016). Традиційні технології фруктово-ягідного та желеино-фруктового мармеладу передбачають використання як основної сировини яблучного пюре промислового виробництва (недоліки якого розглянуто вище), а також застосування синтетичних барвників і ароматизаторів. Як наслідок, така продукція, зазвичай, характеризується низьким вмістом фізіологічно-функціональних інгредієнтів. У зв'язку з цим актуальним є дослідження можливостей покращення нутрієнтного складу мармеладних виробів, зокрема за рахунок замінювання рецептурної класичної плодово-ягідної сировини нетрадиційною, з більшим вмістом корисних речовин.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні дослідники не обмежуються вивченням можливості використання в технології мармеладу плодово-ягідних добавок покращеної харчової та біологічної цінності. Значна увага приділяється також розробці технологій такої продукції з використанням продуктів переробки овочевої сировини, лікарських рослин, водоростей тощо. Паралельно з покращенням нутрієнтного складу багато науковців ставлять за мету і вирішення певних технологічних завдань — вилучення з рецептури мармеладу синтетичних барвників і ароматизаторів (за рахунок ароматичних і забарвлюваних речовин нетрадиційних добавок), зниження витрат цукру, кислоти та драглеутворюю-

вачів (завдяки присутності таких компонентів у складі сировини, що додається) тощо (Matias, Kambulova, & Goncharuk, 2018; Dorohovich, Goncharuk, Matias, & Kambulova, 2018).

Так, у праці (Горобець, Шевченко, & Бородай, 2020) пропонується замінювати під час виготовлення мармеладу 50% яблучного пюре на обліпихове, що дасть змогу виключити з рецептури молочну кислоту та на 50% зменшити рецептурні витрати патоки.

Як барвник та джерело пектинів і поліфенольних сполук дослідники (Moham-madi-Moghaddam, & Firoozzare, 2021) рекомендують використовувати шкірочку з чорносливу. Однак така технологія передбачає достатньо складний процес обробки шкірочки — заморожування, розморожування, гідратацію, гомогенізацію та фільтрування.

У праці (Філь, & Михайлик, 2017) пропонується заміна до 80% яблучного пюре на пюре з хурми, що дасть змогу отримати мармелад приємного помаранчевого кольору, зниженої цукроємності та збагатити його β -каротином і харчовими волокнами. Проблемним моментом технології може виявитися висока собівартість хурми.

Перспективним є використання під час виготовлення мармеладної продукції продуктів переробки овочевої сировини, що зумовлено її нижчою (порівняно з фруктовою) собівартістю і регіональністю походження. У працях (Belović, Rajić-Lijaković, Torbica, Mastilović, & Pećinar, 2016; Kamiloglu, Pasli, Ozelik, Camp, & Saranoglu, 2015) розглянуто можливість застосування в технології мармеладу порошків з томатних вичавків і пюре з чорної моркви. Відмічено стабільність кольору таких виробів у процесі зберігання, підвищення вмісту пектинових речовин та антиоксидантів. Неоднозначним є дещо специфічний присмак такої продукції.

Вченими (Рібцова, & Іванова, 2012) рекомендовано використовувати під час виготовлення мармеладу пюре топінамбура (10% від маси сировини), сік вишні (2,5% від маси сировини), екстракти з пагонів чорниці та листя чорної смородини. Внесення пюре топінамбуру надає можливість знижувати рецептурний вміст цукру й агару, сік вишні є не лише замінником синтетичних смако-ароматичних речовин, а й джерелом мінералів, поліфенолів і органічних кислот, а рослинні екстракти збагачують виріб біологічно-активними сполуками.

Для підвищення харчової цінності желейно-фруктового мармеладу та розширення його асортименту запропоновано використання плодоовочевих кріодобавок (кріопасті з айви, яблук, моркви, гарбуза, винограду та кріопорошки з шипшини, обліпихи та винограду) (Shmatchenko, Artamonova, Aksonova, & Oliinyk, 2018). Нові види мармеладу проявляють високі антиоксидантні властивості в наслідок максимального збереження біологічно-активних сполук у похідній сировині. Це зумовлене шадними режимами отримання паст і порошків — їх концентрування відбувається за рахунок видалення вологи виморожуванням (кріотехнології), а не сушінням, яке, зазвичай, чинить більш руйнівний вплив на органічні речовини. Проте застосування цих добавок є обмеженим через складність і високу вартість їх отримання.

У праці (Непочатих, & Шеремет, 2018) розроблено спосіб виробництва фруктово-ягідного мармеладу на основі гарбузового пюре (замість яблучного) з дода-

ванням порошку ламінарії (5% від маси пюре). Виріб характеризується приємними смаковими властивостями, відсутністю синтетичних смако-ароматичних добавок, підвищеним вмістом каротину та йоду.

Для отримання мармеладу оздоровчого призначення рекомендовано використовувати під час його виготовлення пюре ревеню (до 75% від маси яблучного пюре), соку плодів бузини (як джерела антоціанів) та водно-спиртові екстракти чебрецю, материнки та фіалки (як джерело комплексу біологічно-активних речовин) (патент України на винахід № 105716 С2. Фруктово-желейний мармелад оздоровчого призначення).

З огляду на вищевикладене, можна зробити висновки, що все більше уваги приділяється дослідженням, пов'язаним з використанням у технології мармеладної продукції одночасно декількох збагачувальних компонентів, які взаємно доповнюють один одного за нутрієнтним складом, органолептичними показниками або за технологічними властивостями.

У статті запропонована технологія виробництва мармеладу желейно-фруктового на агарі з внесенням розробленої у попередніх дослідженнях багатокомпонентної плодово-ягідної пасти на основі яблук, айви, чорної смородини (Samokhvalova, Kasabova, Shmatchenko, Zagorulko, & Zahorulko, 2021).

Для оцінки розробленої технології та прогнозування її конкурентоспроможності на ринку кондитерських виробів вважали за доцільне провести визначення комплексного показника якості нової продукції, який дає змогу враховувати її фізико-хімічні, органолептичні властивості та показник біологічної і харчової цінності.

Мета дослідження: визначення комплексної оцінки якості мармеладу фруктово-желейного з багатокомпонентною плодово-ягідною пастою порівняно з контрольним зразком.

Для досягнення мети необхідно було виконати такі завдання: визначити органолептичні та фізико-хімічні показники якості розробленого й контрольного зразків мармеладу, оцінити їх біологічну цінність, розрахувати значення комплексного показника якості продукції.

Матеріали і методи. За контрольний зразок було обрано мармелад желейно-фруктовий «Чорна смородина». Рецептний склад цього мармеладу передбачає внесення ягідної частини — чорно-смородинового припасу, та як структуроутворювач — агар. Дослідним зразком був мармелад желейно-фруктовий на агарі із заміною 30% рецептного фруктового пюре багатокомпонентною плодово-ягідною пастою, технологія якої обґрунтована попередніми дослідженнями (Samokhvalova et al., 2021). Плодово-ягідна паста, яка отримана з яблук, айви і чорної смородини у співвідношенні 40:50:10, сконцентрована у роторному плівковому апараті за щадних режимів (температура 45...50 °C), що сприяє максимальному збереженню речовин похідної сировини.

Органолептичні показники якості мармеладу визначали згідно з ДСТУ 4683. Фізико-хімічні властивості мармеладу оцінювали за показниками масової частки сухих та редукуючих речовин і кислотністю. Масову частку сухих речовин встановлювали рефрактометричним методом (ДСТУ 4910), кислотність — титрометричним методом (ДСТУ 5024), масову частку редукуючих речовин — фериціанідним методом (ДСТУ 5059).

Біологічну цінність продукції оцінювали за вмістом пектинових речовин, вітаміну С та поліфенолів (зокрема антоціанів і катехінів). Вміст пектинових речовин визначали кальцій-пектатним методом, низькомолекулярних фенольних сполук — колориметричним методом за ДСТУ 4373:2005. Вміст катехінів — хроматографічним методом. Кількісний вміст суми окислюваних поліфенольних сполук визначали методом перманганатометрії за методикою ДФ XI. Масову частку вітаміну С визначали за допомогою титриметричного методу.

Величина похибки для всіх досліджень становила 3...5%, число повторюваностей дослідів — $n = 5$, імовірність — $P \geq 0,95$.

Комплексну оцінку якості досліджуваних зразків мармеладу визначали за методами кваліметрії через узагальнений показник, що враховує одиничні та групові показники якості (Сафонова та ін., 2000).

Викладення основних результатів дослідження. На першому етапі досліджень здійснювали оцінку органолептичних показників якості зразків (табл. 1).

Таблиця 1. Органолептичні показники якості досліджуваних зразків мармеладу

Показник	Характеристика показника для мармеладу желейно-фруктового	
	Контрольний зразок	З багатокомпонентною плодово-ягідною пастою
Смак і запах	Властивий виробу без стороннього присмаку та запаху	З приємним присмаком і запахом чорної смородини, більш виражений
Колір	Фіолетовий	Фіолетовий, більш насичений
Консистенція	Драгелеподібна, не затяжна	
Форма	Правильна, з чітким контуром, без деформації	

Встановлено, що додавання багатокомпонентної плодово-ягідної пасти покращує органолептичні показники якості мармеладу: надає виробам кисло-солодкого смаку, з приємним присмаком і запахом чорної смородини, насиченого фіолетового кольору, драгелеподібної, не затяжної консистенції та правильної форми з чітким контуром.

На наступному етапі досліджень здійснювали порівняння досліджуваних зразків за фізико-хімічними характеристиками (табл. 2).

Таблиця 2. Фізико-хімічні показники якості досліджуваних зразків мармеладу ($n = 5$, $P \geq 0,95$, $\sigma = 3...5\%$)

Показник	Значення показника для мармеладу желейно-фруктового		
	згідно з ДСТУ 4333:2018	контрольний зразок	з багатокомпонентною пастою
Масова частка сухих речовин, %	76...85	88,0	88,0
Масова частка редукуючих речовин, %	Не більше 25%	10,0	11,1
Кислотність, град	7,5...22,5	10,2	10,0

Встановлено, що за показниками вмісту сухих речовин і кислотністю мармелад з багатокомпонентною плодово-ягідною пастою знаходиться на рівні контрольного зразка, але дещо перевищує його за вмістом редуруючих речовин.

Однак за фізико-хімічними показниками обидва досліджувані зразки відповідають вимогам нормативної документації.

На третьому етапі роботи оцінювали біологічну цінність мармеладу з додаванням багатокомпонентної плодово-ягідної пасти та контрольного зразка (табл. 3).

Таблиця 3. Біологічна цінність досліджуваних зразків мармеладу ($n = 5$, $P \geq 0,95$, $\sigma = 3...5\%$)

Речовина	Середньодобова потреба	Мармелад (контрольний зразок)		Мармелад з багатокомпонентною пастою	
		вміст речовин у 100 г	% від середньодобової потреби	вміст речовин у 100 г	% від середньодобової потреби
Пектинові речовини, г	10,0	1,55	15,5	2,32	23,2
Вітамін С, мг	70,0	4,56	6,5	21,8	31,1
Поліфеноли, мг	50,0	51,0	102,0	274,5	549,0
Антоціани, мг	200,0	—	—	92,3	46,2
Катехіни, мг	100,0	—	—	67,2	67,2

Встановлено, що додавання багатокомпонентної плодово-ягідної пасти до рецептурного складу мармеладу підвищує вміст усіх фізіологічно функціональних інгредієнтів порівняно з контрольним зразком. Так, вміст пектинових речовин підвищується у 1,5 раза (2,32 г), що за умов споживання 100 г продукту задовольняє середньодобову потребу людини на 23,2%. Вміст вітаміну С зростає у 4,8 раза, що складає 31,1% середньодобової потреби людини, вміст поліфенолів — у 5,4 раза. Особливістю поліфенольного складу розробленого виробу є наявність значної кількості антоціанів і катехінів, які відсутні в контрольному зразку, — 46,2 та 67,2% від добової потреби відповідно.

Для узагальнення отриманих даних щодо якісних показників досліджуваних мармеладних виробів проводили розрахунок комплексного показнику якості. Розрахунок здійснювали із застосуванням принципів кваліметрії, які передбачають реалізацію таких кроків: складання «дерева властивостей» мармеладу з відображенням одиничних і групових властивостей та їх коефіцієнтів вагомості; вибір базових значень одиничних показників якості; переведення отриманих за результатами досліджень абсолютних значень одиничних показників у відносні; розрахунок групових і комплексного показників якості.

Розроблено (рис. 1) «дерево властивостей» желеино-фруктового мармеладу, яке відображає оцінені вище одиничні якісні показники. Оскільки властивості, які включено до дерева, різні за значимістю, експертною групою науковців Державного біотехнологічного університету визначено коефіцієнти вагомості одиничних і групових показників якості. Під час встановлення коефіцієнтів вагомості враховано, що їхня сума в межах групи властивостей повинна дорівнювати 1.

	Групові показники			Одиничні показники		
	Найменування	Кодоване позначення	Коефіцієнт вагомості	Найменування	Кодоване позначення	Коефіцієнт вагомості
Якість мармеладу	Органолептичні властивості	P_A	0,30	Смак і запах	P_{A1}	0,20
				Колір	P_{A2}	0,20
				Консистенція	P_{A3}	0,20
				Форма	P_{A4}	0,20
				Поверхня	P_{A5}	0,20
	Фізико-хімічні властивості	P_B	0,25	Масова частка сухих речовин	P_{B1}	0,35
				Масова частка редуруючих речовин	P_{B2}	0,35
				Титрована кислотність	P_{B3}	0,30
	Біологічна цінність	P_C	0,45	Пектинові речовини	P_{C1}	0,25
				Аскорбінова кислота	P_{C2}	0,25
				Поліфеноли	P_{C3}	0,20
				Антоціани	P_{C4}	0,15
				Катехіни	P_{C5}	0,15

Рис. 1. «Дерево властивостей» мармеладу желеино-фруктового

Розрахунок комплексного показника якості мармеладу починали з визначення групових показників. Визначення абсолютних значень органолептичних властивостей (група P_A) проводили в рамках експертної групи за 50-бальною шкалою.

Абсолютні значення фізико-хімічних показників якості досліджених зразків мармеладу (група P_B) та показників, що характеризують біологічну цінність продукції (група P_C), наведено у табл. 2 та табл. 3 відповідно. Відносні безрозмірні величини одиничних показників якості продукції встановлювали за відношенням їх абсолютних значень до базових (Сафонова та ін., 2000). Як базові вибирали максимально допустиме значення за нормативною документацією або найкраще значення з оцінюваних, або як у контрольному зразку (табл. 4).

Таблиця 4. Базові показники для властивостей груп В та С

Група властивостей	Показник	Значення базового показника
P_A	$P_{A1}—P_{A5}$	50 балів
P_B	P_{B1}^3	85,0%
	P_{B2}^2	11,1%
	P_{B3}^1	10,0 град
P_C	P_{C1}^2	2,32 г/100 г
	P_{C2}^2	21,8 мг/100 г
	P_{C3}^2	274,5 мг/100 г
	P_{C4}^2	92,3 мг/100 г
	P_{C5}^2	67,2 мг/100 г

Примітки:¹ — максимально допустиме значення за нормативною документацією; ² — найкраще значення з оцінюваних; ³ — як у контрольному зразку.

Результати переведення абсолютних показників якості у відносні безрозмірні величини наведено у табл. 5.

Таблиця 5. Визначення відносних показників якості досліджуваних зразків мармеладу

Одиниці вимірювання	Кі-ті показники якості			Відносні показники якості		
	Код	Контроль	Мармелад з багатокомпонентною пастою	Код	Контроль	Мармелад з багатокомпонентною пастою
Бали	P_{A1}	48	50	K_{A1}	0,96	1,00
Бали	P_{A2}	45	50	K_{A2}	0,90	1,00
Бали	P_{A3}	50	50	K_{A3}	1,00	1,00
Бали	P_{A4}	49	49	K_{A4}	0,98	0,98
Бали	P_{A5}	49	49	K_{A5}	0,98	0,98
%	P_{B1}	88,0	88,0	K_{B1}	0,96	0,96
%	P_{B2}	10,0	11,1	K_{B2}	0,90	1,0
Град	P_{B3}	10,2	10,0	K_{B3}	0,98	1,00
г/100г	P_{C1}	1,55	23,2	K_{C1}	0,66	1,00
мг/100г	P_{C2}	4,56	31,1	K_{C2}	0,85	1,00
мг/100г	P_{C3}	51,00	549,0	K_{C3}	0,10	1,00
мг/100г	P_{C4}	0,00	46,2	K_{C4}	0,00	1,00
мг/100г	P_{C5}	0,00	67,2	K_{C5}	0,00	1,00

Оцінку групових властивостей проводили з урахуванням відносних величин показників якості в межах групи (табл. 5) та коефіцієнтів вагомості (рис. 1) проводили за формулою:

$$K_0 = \sum_{i=1}^n M_i K_i,$$

де M_i — коефіцієнт вагомості i -ого показника; n — число показників якості продукції; K_i — відносний показник якості.

На основі розрахунку побудовано модель якості мармеладу за груповими властивостями (рис. 2).

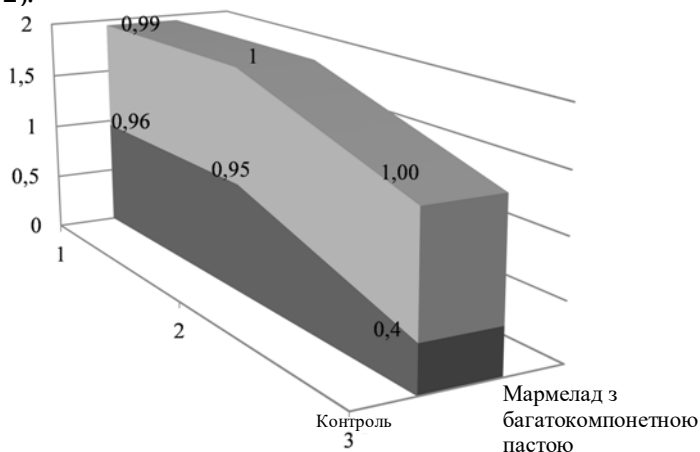


Рис. 2. Модель якості досліджуваних зразків мармеладу за груповими властивостями: 1 — органолептичні; 2 — фізико-хімічні; 3 — біологічна цінність

Шкала оцінювання розподіляється на інтервали: 1,00...0,80 (дуже добре); 0,80...0,60 (добре); 0,60...0,40 (задовільно); 0,40...0,20 (погано). Тобто якщо за органолептичними (група P_A) і фізико-хімічними (група P_B) властивостями контрольний зразок мармеладу і зразок з добавкою знаходяться майже на одному рівні і характеризуються оцінкою «дуже добре», то за показником біологічної цінності (група P_C) традиційний мармелад суттєво поступається розробленому — значення його групового показника якості знаходиться на межі оцінок «погано» і «задовільно», що знайшло відображення і під час розрахунку комплексних показників якості досліджуваних зразків мармеладу (табл. 6).

Таблиця 6. Комплексна оцінка якості досліджуваних зразків мармеладу

Зразок	Оцінка якості за властивостями			Комплексний показник
	органолептичні $M_A K_A$	фізико-хімічні $M_B K_B$	біологічна цінність $M_C K_C$	K_0
Мармелад желеино-фруктовий (контрольний зразок)	0,3-0,96	0,25-0,95	0,45-0,40	0,71
Мармелад із багатокомпонентною пастою	0,3-0,99	0,25-1,0	0,45-1,00	0,99

З таблиці видно, що комплексний показник якості контрольного зразка відповідає оцінці «добре» (0,71), тоді як комплексний показник якості мармеладу з багатокомпонентною пастою — оцінці «дуже добре» (0,99). Тобто розроблений мармелад за комплексним показником якості перевершує традиційний на 39,4%, що свідчить про конкурентоспроможність нової технології.

Висновки

Проведено оцінку якості мармеладу фруктово-желейного з багатокомпонентною плодово-ягідною пастою (з яблук, айви та чорної смородини) порівняно зі зразком, виготовленим за класичною технологією. Встановлено, що розроблений мармелад дещо перевершує контрольний за смаковими та кольоровими характеристиками. Фізико-хімічні показники досліджуваних мармеладів характеризуються близькими значеннями і знаходяться на рівні, що регламентовано нормативною документацією. Оцінка біологічної цінності виробів показала, що завдяки додаванню багатокомпонентної плодово-ягідної пасти до рецептурного складу мармеладу желеино-фруктового в ньому значно підвищується вміст пектинових речовин (у 1,5 раза), вітаміну С (у 4,8 раза) та поліфенолів (у 5,4 раза).

Встановлено, що комплексна оцінка якості мармеладу желеино-фруктового з багатокомпонентною плодово-ягідною пастою з урахуванням групових показників (органолептичних, фізико-хімічних, біологічної цінності) перевищує зразок, виготовлений за класичною технологією, на 39%. Отже, вдосконалена технологія мармеладу є конкурентоспроможною.

Перспективи подальших наукових досліджень полягають у вивченні можливості використання багатокомпонентної плодово-ягідної пасти в технологіях інших виробів мармеладо-пастильної групи для покращення їх нутрієнтного складу, вилучення з рецептур синтетичних смако-ароматичних добавок і, можливо, зниження цукроємності і вмісту драглеутворювачів.

Література

- Горобець, О. М., Шевченко, Ю. В., Бородай, А. Б. (2020). Інноваційні технології у виробництві солодких страв та борошняних кондитерських виробів. *Ресторанний і готельний консалтинг. Інновації*, 3(1), 80—93. doi: 10.31866/2616-7468.3.1.2020.205571.
- Непочатих, Т., Шеремет, С. (2018). Забезпечення якості нового фруктово-ягідного мармеладу з додаванням ламінарії. *Traektoriâ Nauki = Path of Science*, 4(2), 3001—3007. doi: 10.22178/pros.31-6.
- Рібцова, І. В., Іванова, В. Д. (2012). Розроблення нових видів фруктово-желейного мармеладу функціонального призначення. *Здобутки, проблеми та перспективи розвитку готельно-ресторанного та туристичного бізнесу: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції*. Київ: НУХТ. 265—267. Взято з <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/5314/3/NUFT2012.pdf>.
- Сафонова, О. Н., Перцевой, Ф. В., Гринченко, О. А., Фощан, А. Л., Пивоваров, П. П., Богомолов, А. В., Тищенко Л. Н., Гарнцарек, Б. Ч. (2000). *Системные исследования технологии переработки продуктов питания*. Харьков: ХГАТОП и ХГТУСХ.
- Філь, М. І., Михайлик, О. Я. (2017). Інноваційний підхід у технології фруктового мармеладу. *Науковий вісник ЛНУВМБТ ім. С.З. Гжицького*, 19(75), 55—58. doi: 10.15421/nvlvet7511.
- Belović, M., Pajić-Lijaković, I., Torbica, A., Mastilović, J., Pećinar, I. (2016). The influence of concentration and temperature on the viscoelastic properties of tomato pomace dispersions. *Food Hydrocolloids*, 61, 617—624. doi: 10.1016/j.foodhyd.2016.06.021.
- Dorohovich, A., Goncharuk, O., Matias, D., Kambulova, J. (2018). Influence of sugars on the formation of structural and mechanical characteristics of agar polysaccharides' gels. *Ukrainian Journal of Food Science*, 6(1), 20—31. Retrieved from <http://ukrfoodscience.ho.ua/Archiv/Ukr%20Jour%20Food%20Sci%20V%206%20I%201.pdf>.
- Ghasemzadeh, A., Ghasemzadeh, N. (2011). Flavonoids and phenolic acids: Role and biochemical activity in plants and human. *J. of Medicinal Plants Research*, 5(31), 6697—6703. Retrieved from http://www.academicjournals.org/app/webroot/article/article1380724896_Ghasemzadeh%20and%20Ghasemzadeh.pdf.
- Kamiloglu, S., Pasli, Ayca A., Ozcelik, B., CampJohn, V., Capanoglu, E. (2015). Influence of different processing and storage conditions on *in vitro* bioaccessibility of polyphenols in black carrot jams and marmalades. *Food Chemistry*, 186, 74—82. doi: 10.1016/j.foodchem.2014.12.046.
- Matias, D., Kambulova, J., Goncharuk, O. (2018). Regularity of structuralization of jelly marmalade on agar polysaccharides and pectins with low content of sugars. *Ukrainian Journal of Food Science*, 6(2), 168—184. Retrieved from <http://ukrfoodscience.ho.ua/Archiv/Ukr%20Jour%20Food%20Sci%20V%206%20I%202.pdf>.
- Mehrandish, R., Rahimian, A., Shahriary, A. (2019). Heavy metals detoxification: A review of herbal compounds for chelation therapy in heavy metals toxicity. *Journal of Herbmед Pharmacology*, 8, 69—77. doi: 10.15171/jhp.2019.12.
- Mohammadi-Moghaddam, T., & Firoozzare, A. (2021). Investigating the effect of sensory properties of black plum peel marmalade on consumers acceptance by Discriminant Analysis. *Food Chemistry*, X(11), 100—126. doi: 10.1016/j.fochx.2021.100126.
- 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. doi: 10.15587/1729-4061.2021.245986.
- Shmatchenko, N., Artamonova, M., Aksonova, O., Oliinyk, S. (2018). Investigation of the properties of marmalade with plant cryoadditives during storage. *Food Science and Technology*, 12 (1), 87—94. doi: 10.15673/fst.v12i1.843.
- Wolf, B. (2016). Confectionery and Sugar-Based Foods. *Reference Module in Food Science, Elsevier*. doi: 10.1016/B978-0-08-100596-5.03452-1.

FORMATION OF CONSUMER PROPERTIES OF HIGH-PROTEIN SEMI-FINISHED PRODUCTS FROM CULTIVATED MUSHROOMS

G. Simakhina, N. Naumenko, O. Mezhubovsky, S. Kaminska

National University of Food Technologies

Key words:

*Protein concentrates
Amino acids
Proteolysis
Fractioning
Cultivated mushrooms
Low-temperature drying*

Article history:

Received 07.01.2023
Received in revised form
24.01.2023
Accepted 13.02.2023

Corresponding author:

G. Simakhina
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

Nutrition as the factor to determine the physical endurance and the intellectual level of a human, growth and development of a young organism, the eagerness to active and creative longevity, always attracted and still will attract the increasing interest in scientists (biologists, physiologists, hygienists etc), technologists and the average consumers. The need of a live body in essential biocomponents such as proteins can be finally defined as its need in amino acids (indispensable as well as dispensable). Definitely, only the valuable proteins can provide the correlation of amino acids in proportions correspondent to proteins of our own tissues.

The analysis of nutritional structure in Ukrainian people evidences the constant deficit of food proteins that can be forecast for the nearer future. Therefore, the search for the new sources, the enlarged output and the reformed structure of food proteins is one of the most important and complicated tasks to nutrition, first of all healthy one.

The solution to this problem, from our viewpoint, should be accomplished two ways in two parallel trends. The first one is to gradually intensify the agricultural and other traditional methods to produce the proteinaceous foodstuffs; the second one is to elaborate the innovative technologies for obtaining the protein foods from the new and untraditional sources, including the edible mushrooms.

The authors of this article, having based on the literary sources and experimental results, proved the preference of using the cultivated mushrooms over the wild ones in terms of their biological value and safety for consumers. The regularities of forming the consumption properties of cultivated mushrooms half-products, obtained by low-temperature drying, according to the indices of protein digestibility, correlation between amino acids in free and constrained forms, fractional composition of proteins in different methods of mushroom procession. The conclusion about the perspectives of obtaining the mushroom half products for using in various areas of food industry was made.

ФОРМУВАННЯ СПОЖИВЧИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВИСОКОБІЛКОВИХ НАПІВФАБРИКАТІВ ІЗ КУЛЬТИВОВАНИХ ГРИБІВ

Г. О. Сімахіна, Н. В. Науменко, О. М. Межубовський, С. В. Камінська
Національний університет харчових технологій

Харчування як чинник, що зумовлює фізичну працездатність, інтелектуальний рівень людини, ріст і розвиток молодого організму, здатність до активного творчого довголіття, завжди викликало й викликати буде підвищений інтерес учених (біологів, фізіологів, гігієністів тощо), технологів і пересічних споживачів. Потреба живого організму в есенціальних біокомпонентах — білках, уреїті-реїті, зводиться до його потреби в амінокислотах — замінних та есенціальних. І лише повноцінні білки забезпечують співвідношення амінокислот у пропорціях, що відповідають білкам наших власних тканин.

Аналіз структури харчування населення України свідчить про постійний дефіцит харчового білка, що прогнозується й на майбутнє. Тому пошук нових його джерел, збільшення виробництва продовольчого білка і формування його структури є одним із найбільш істотних та складних завдань харчування, перш за все — здорового.

Вирішення цієї проблеми, з нашої точки зору, має здійснюватись двома шляхами, в двох паралельних напрямках. Перший — це поступова інтенсифікація сільськогосподарського та інших традиційних способів виробництва білкових продуктів. Другий шлях — це розроблення інноваційних технологій отримання білкових продуктів з нових і нетрадиційних джерел, в тому числі з їстівних грибів.

У статті на основі літературних джерел та експериментальних досліджень показано перевагу використання культивованих грибів перед дикорослими об'єктами з точки зору їхньої біологічної цінності та безпеки для споживачів. Обґрунтовано закономірності формування споживчих властивостей напівфабрикатів культивованих грибів, отриманих низькотемпературним сушінням за показниками перетравлюваності білків, співвідношенням амінокислот у вільній і зв'язаній формах, фракційного складу білків при різних методах перероблення грибів. Зроблено висновок щодо перспективності напряму з отримання високобілкових грибних напівфабрикатів для використання в різних галузях харчової промисловості.

Ключові слова: білкові концентрати, амінокислоти, протеоліз, фракціонування, культивовані гриби, низькотемпературне сушіння.

Постановка проблеми. Вчені переконані, що вже найближчим часом білкові продукти з їстівних грибів відіграють важливу роль в істотному збільшенні ресурсів білка в світі. Підраховано, що сучасні підприємства з вирощування грибів отримують 60...80 т на рік сухого білка з 1 га площі. А штучне розведення грибів вважають найвигіднішим з усіх сільськогосподарських виробництв.

Нині світове промислове виробництво грибів — понад 7 млн тонн на рік. Споживання штучно вирощених грибів невпинно зростає. Так, у країнах Європи і США споживання грибів на душу населення становить близько 4 кг на рік. В Україні ця цифра не перевищує 300...400 г, тому для нас проблема штучного культивування грибів дуже актуальна. Це пов'язано із загальним погіршенням екологічної ситуації, внаслідок чого плодови тіла грибів, зібраних у місцях природного зростання, накопичують солі важких металів, радіонукліди і стають просто небезпечними не лише для здоров'я, а й для життя.

Здавалося б, незвичайна ситуація. Нас цікавлять гриби, ці об'єкти природи, які належать до нижчих рослин, позаяк позбавлені хлорофілу. А кожна зелена рослина — це мініатюрна фабрика, яка, поглинаючи сонячну енергію, з вуглекислоти, води та інших сполук, синтезує різноманітні органічні сполуки. Цей процес, який називається фотосинтезом, свідчить про те, що зелені рослини вміють створювати живі речовини з неорганічних.

Гриби на це нездатні. Ба більше, вони живляться за рахунок готових сполук, що містяться або в мертвих органічних залишках (гриби-сапрофіти), або в живих рослинах (гриби-паразити). Існує також безліч перехідних форм грибів.

Однак гриби викликають великий інтерес і науковців, і практиків саме завдяки наявності в них значної кількості білка. У свіжих грибах вміст білків досягає 7...8% за масою білків, а в сухих порошках з грибів — до 50%, і практично 70% цього білка засвоюється організмом людини.

Останнім часом дедалі більшого розповсюдження набувають культивовані гриби — печериці та гливи. Незаперечним є те, що правильно вирощена і добре приготована глива не поступається за смаковими якостями і значно переважає за цілющими властивостями лісові гриби.

Підприємці з культивування грибів переконані, що виробництво грибів — це цілком безвідходний бізнес, бо сировиною для цього є такі відходи сільського господарства, як солома, лушпиння соняшника, бавовни тощо. Рентабельність такого бізнесу становить 50...100%. Ще однією безумовною перевагою культивованих грибів є те, що це — екологічно чиста сировина. При їх вирощуванні отрутохімікати, пестициди практично не використовуються.

Водночас їх широке впровадження у виробництво і просування на споживчому ринку як екологічно чистих продуктів, продуктів для здорового харчування обмежується недостатньою кількістю праць, у яких вивчаються наукові основи технологій перероблення грибів. Тому вивчення теоретичних і практичних аспектів перероблення й використання грибів та грибного протеїну — проблема надзвичайно багатопланова і містка.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Національний центр біотехнологічної інформації США ще у 2014 р. показав, що близько 90% дорослих усвідомлюють переваги таких продуктів (Global, 2020; Mubiana, Keumbo, & Kadhila, 2022; Shu, & Wasser, 2012). Трендовим напрямом є виробництво білковмісних продуктів із сої в країнах Азії, зокрема Китаї, а в останні роки — і в Європі, завдяки екологічній ідеології та поширенню вегетаріанства. Є цілий ряд наукових розробок з використання грибною сировини як заміни м'яса (Пасічний, Жабіна, & Ястреба, 2009). Фактично це стало однією з основних тенденцій харчової галузі протягом останніх років, і вона надалі поглиблюватиметься (Bakratsas et

al., 2021). Найбільша частка припадає на гриби печериці (*Agaricusbisporus*) та шиїтаке (*Lentinulaedodes*) (Martinez-Medina et al., 2021; Stojkovic et al., 2014).

Проблема штучного культивування грибів дуже актуальна, оскільки плоді тіла лісових грибів накопичують солі важких металів, радіонукліди тощо, стаючи небезпечними для здоров'я та життя споживачів (Struminska, Falandysz, & Moniakowska, 2021). Тому в майбутньому, за прогнозами вчених, понад 2/3 потреби людини в білках задовольнятиметься промисловим виробництвом їстівних грибів (Цизь, 2014). Вони екологічно чисті, мають приємний пікантний смак завдяки наявності натрієвих солей глютамінової кислоти (Shu-Ting, 2006), здатні підвищувати імунітет до інфекційних та онкологічних захворювань (Яценко, 2012).

Біокомпоненти культивованих грибів чинять кардіопротекторну, протипухлинну, антидіабетичну, гепатопротекторну дію (Martinez-Medina et al., 2021; San- ket, & Pravin, 2021). Вони органічно включаються в процеси метаболізму та не мають кумулятивної здатності (Яценко, 2012; Cultivation, 2021). Комплекс глюканів з білками грибів регулює вміст глюкози в крові, а олігосахариди з пребіотичними властивостями активізують природну мікрофлору шлунково-кишкового тракту (Synytsia, Mickova, & Synytsia, 2009).

Регулярне споживання печериць значно збільшує вміст антиоксидантних маркерів та знижує рівень оксидативного стресу (Calvo et al., 2016; Glamoclija et al., 2015). Гриби можуть стати єдиним джерелом вітаміну D нетваринного походження (Bernas, & Jaworska, 2017; Cardwell et al., 2018). Вирощування грибів із застосуванням ультрафіолетових технологій є безпечним для споживачів (Simon et al., 2013), ба більше, наукові установи Служби сільськогосподарських досліджень США та Австралійської асоціації грибників провели дослідження, які показали, що біодоступність вітаміну D₂ із грибів, отриманих таким способом, не відрізняється від ефективності фармакологічних препаратів (Urbain et al., 2011; Turck et al., 2021). Ця інформація додатково підтверджує придатність і безпеку технології ультрафіолетового опромінення культивованих грибів (Simon et al., 2011; Guan et al., 2016).

Таким чином, проблема штучного культивування грибів і збільшення обсягу їх споживання є науково обґрунтованою і актуальною у світі. Разом з тим, потенційні можливості грибної сировини сьогодні використовуються далеко не повністю. Йдеться передусім про білкову складову грибів, яка й визначає їхню біологічну цінність, тобто є показником якості харчового білка, що відображає ступінь відповідності його амінокислотного складу потребам організму в амінокислотах для синтезу власних білків. До того ж білки є найважливішим компонентом їжі. Саме вони забезпечують ріст, утворення нових і відновлення ушкоджених тканин, усі ферменти та деякі гормони є білками. І лише повноцінні білки забезпечують співвідношення амінокислот у пропорціях, що відповідають потребам організму людини.

На жаль, ці питання досліджено досить фрагментарно. У працях деяких науковців ідеться лише про загальний вміст білка у гливі, печерицях без вивчення його амінокислотного складу та співвідношення незамінних і замінних амінокислот; без пошуку способів підвищення біологічної цінності грибів тощо.

Мета статті: на основі експериментальних досліджень обґрунтувати закономірності формування споживчих властивостей напівфабрикатів культивованих грибів, отриманих низькотемпературним способом, за показниками перетравлюваності білків, співвідношенням амінокислот у вільній та зв'язаній формах, фракційного складу білків при різних методах перероблення грибів.

Матеріали і методи. Для досліджень використано свіжі гриби печериці за ДСТУ ISO7561-2001 та грибний порошок низькотемпературного сушіння. Вміст сухих речовин визначали за загальновідомою методикою за ДСТУ 7804: 2015. Загальний вміст білків, якісний і кількісний склад амінокислот визначали за методикою (Redwejk et al., 2012) з використанням капілярного електрофорезу. Загальний вміст вуглеводів визначали методом іонного аналізу (Metrohm) за допомогою хроматографа Bioscan 817 фірми Metrohm. Для підготовки проби до аналізу гриби розтирають до отримання однорідної маси і вводять в автоматичний пробовідбірник хроматографа. Вміст клітковини визначали методом прямого вагового аналізу, сутність якого полягає в окисленні, руйнуванні та розчиненні різних хімічних сполук, крім клітковини, яку потім видаляють, висушують та зважують (Kumar, & Turner, 2015). Вміст золи визначали за ДСТУ ISO2171: 2009.

Викладення основних результатів дослідження. При виборі грибної сировини для отримання напівфабрикатів необхідно, насамперед, дати характеристику біохімічного складу грибів за тими компонентами, які складають їх основну масу і визначають харчову та біологічну цінність, а потім доповнити отримані дані з'ясуванням органолептичних властивостей предметів дослідження.

За літературними даними зроблено висновок, що різні частини плодового тіла грибів — шапка і ніжки — дещо відрізняються за хімічним складом, що, очевидно, доцільно враховувати при виборі технологічних способів перероблення грибів. Порівняльні дослідження провели для культивованих грибів та білих (як контрольного зразка). Результати наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Основні біологічні показники анатомічних частин плодового тіла грибів

Показники	Вид грибів та анатомічні частини					
	білі гриби		печериці		глива звичайна	
	ніжка	шапка	ніжка	шапка	ніжка	шапка
Вода, %	87,0	85,5	86,0	84,2	91,0	90,5
Сухі речовини, %	13,0	14,5	14,0	15,8	10,0	9,05
Білки, %	6,8	8,5	7,5	8,6	4,0	5,1
Вуглеводи, %	3,22	3,03	2,4	2,4	1,2	1,0
Клітковина, %	2,33	2,0	3,0	1,6	4,7	3,2

Із наведених даних видно, що за всіма показниками переважають печериці: і в ніжках, і в шапках міститься більше білка, ніж в інших видах грибів, навіть білих. Вміст білка в шапках печериць становить 8,6%, у білих грибах — 8,4%, у гливі — 5,1%. Біохімічний склад ніжок усіх грибів дещо відрізняється від шапок у бік зменшення масової частки білків (наприклад, у білих грибах з 8,4 до 6,8%). У шапках також менше клітковини, і це характерно для всіх досліджених грибів. Слід зазначити, що в гливі клітковини майже вдвічі більше, ніж у печерицях, і можна прогнозувати, що глива важче перетравлюватиметься в організмі людини,

оскільки клітковина представлена нерозчинними сполуками — протопектином, целюлозою, геміцелюлозами, які досить стійкі до дії протеолітичних ферментів. Перевагу печерицям надають і зарубіжні вчені (Simon et al., 2011).

Зважаючи на таку неоднорідність біохімічного складу шапок і ніжок, введено поняття ступеня неоднорідності анатомічних частин плодового тіла грибів за двома основними складовими — вмістом білка та клітковини. Цей показник оцінюють за коефіцієнтом $K_6 = B/K_l$, де: B — вміст білка, %; K_l — вміст клітковини, %.

Для досліджених видів грибів коефіцієнт K_6 становить:

для білих грибів: ніжки — 3,5; шапки — 4,2;

для печериці: ніжки — 2,5; шапки — 5,4;

для гливи: ніжки — 0,85; шапки — 1,6.

З отриманих даних зрозуміло, що чим вищим є коефіцієнт K_6 , тим більша у грибах частка білка і менша — клітковини. Цей коефіцієнт найбільш показовий для шапок печериць — 5,4. У ніжках гливи, наприклад, білка менше, ніж клітковини.

Така різниця в ступені неоднорідності різних анатомічних частин грибів свідчить про їхні різні структурно-механічні властивості, міцність тканин. Зважаючи на те, що і за основними біохімічними показниками ніжки й шапки відрізняються, можна зробити такий висновок: при розробленні технології отримання грибних напівфабрикатів незалежно від виду грибів їх доцільно переробляти, попередньо відділивши ніжки від шапок, і для кожної з цих анатомічних частин добирати оптимальні значення параметрів процесу.

Разом з тим, таку додаткову операцію доцільно проводити при отриманні високобілкових напівфабрикатів. Якщо такої умови немає, то виробник може обрати будь-який із двох варіантів перероблення грибів.

З огляду на порівняльний вміст білків і клітковини у різних видах грибів (табл. 1) зроблено припущення, що це впливатиме на ефективність перетравлювання грибів в організмі людини, і що вищою є частка клітковини, то важче відбуватиметься цей процес. Таке припущення перевірили в дослідженнях з протеолізу білків різних видів грибів протеолітичними ферментами.

Умови протеолізу, визначені в результаті підбору фермент-субстратного співвідношення, оптимальна тривалість проведення реакції та кислотність середовища відповідають умовам у шлунково-кишковому тракті людини.

До наважки досліджуваного матеріалу додавали водний розчин пепсину, підкисленого HCl до pH 2, у співвідношенні фермент:субстрат = 1:12,5. Тривалість гідролізу — 3 год, температура — 37,5 °C. Після зазначеного часу фермент інактивували додаванням 20-відсоткового розчину трихлороцтової кислоти. Проби витримували ще деякий час. Потім їх центрифугували для найповнішого осадження білків і визначали в центрифугатах їх вміст.

Перетравлюваність трипсином знаходили таким же чином, приливаючи до наважки зразка 1-відсотковий розчин ферменту в 0,05 М фосфатному буфері pH 7,0. Потім визначали ступінь пептидазного гідролізу. Результати наведені в табл. 2.

З наведених даних видно, що на всіх стадіях протеолізу перетравлюваність білків печериці трохи більша, ніж білих грибів, і наближається до аналогічних показників контрольного зразка — білків молока (29,32 ммоль $\text{NH}_2/\text{г}$ білка по-

рівняно з 30,3 ммоль NH_2 /1 г білка). Загальний протеоліз білків гливи на 10,4% менше, ніж печериці. Тому обидва ці види грибів придатні для перероблення.

Таблиця 2. Кількість гідролізованих in vitro білків у досліджуваних матеріалах, ммоль NH_2 /1 г білка

Вид матеріалу	Стадія протеолізу			
	пепсинова	трипсинова	пептидазна	загальний протеоліз
Молоко	3,54 ± 0,7	11,32 ± 1,9	15,44 ± 2,6	30,3 ± 0,2
Білі гриби	3,26 ± 1,8	11,00 ± 0,2	14,95 ± 0,9	28,61 ± 1,7
Печериці	3,16 ± 2,2	11,27 ± 0,9	14,89 ± 0,5	29,32 ± 1,1
Глива	2,55 ± 1,4	10,6 ± 0,7	13,44 ± 1,8	26,59

Свіжі гриби відрізняються високим вмістом води (до 90%), тому термін їх зберігання незначний, зокрема через те, що у вологому середовищі швидко розвиваються мікроорганізми. Тому істотне зниження вмісту води у грибах шляхом використання механічних, фізичних, хімічних впливів надає можливість подовжити термін зберігання грибів без зниження їх харчової та біологічної цінності.

Одним із найбільш ефективних і раціональних способів отримання грибних напівфабрикатів є сушіння сировини до залишкової вологості 12...14%. При цьому слід мати на увазі, що при високотермічному обробленні свіжих грибів у кінцевому продукті порушується баланс цінних термолабільних біологічно активних речовин унаслідок їх часткового або повного руйнування. Тому в цьому дослідженні ми віддаємо перевагу низькотемпературному сушінню сировини. Цілком очевидно, що майбутнє в харчових технологіях належить комбінованим високоефективним процесам на основі використання низьких температур.

Для отримання сухого грибного напівфабрикату дослідили різні температури сушіння в діапазоні від 25 °C до 55 °C. На основі аналізу кінетичних кривих сушіння встановили, що для досягнення оптимальної залишкової вологості (10—14%) кожній температурі відповідає певна тривалість процесу:

для температури 25 °C — 610 хв;

для температури 35 °C — 420 хв;

для температури 45 °C — 340 хв;

для температури 55 °C — 260 хв.

Результати наведені в табл. 3.

Таблиця 3. Біохімічний склад свіжих і сушених печериць

Показники	Свіжі гриби	Температура сушіння, °C/т, хв			
		25/610	35/420	45/340	55/260
Вміст води, %	87,6 ± 0,6	14,4 ± 0,6	11,6 ± 0,9	10,8 ± 1,3	10,4 ± 0,6
Сухі речовини, %	12,4 ± 0,9	85,6 ± 1,4	88,3 ± 2,0	89,2 ± 0,6	89,6 ± 1,8
Білок, % на 100 СР	22,8 ± 3,2	23,2 ± 0,9	21,6 ± 3,2	21,2 ± 1,5	16,2 ± 0,4
Жири, % на 100 СР	2,7 ± 1,8	2,6 ± 3,1	2,9 ± 0,8	2,7 ± 0,6	2,6 ± 0,2
Вуглеводи, % на 100 СР	38,4 ± 4,4	38,8 ± 0,7	40,2 ± 1,1	42,6 ± 1,4	43,4 ± 1,3
Клітковина, % на 100 СР	30,2 ± 0,6	30,5 ± 1,2	29,0 ± 0,9	27,4 ± 1,3	25,5 ± 0,6
Зола, % на 100 СР	5,5 ± 2,4	5,6 ± 0,7	6,0 ± 0,4	5,9 ± 1,5	5,7 ± 2,8

Встановлено таку залежність: у період постійної швидкості сушіння видалення вологи незначно залежить від температури процесу. Протягом 180 хв залишкова волога для різних температур становить:

- для температури 25 °C — 62%;
- для температури 35 °C — 47%;
- для температури 45 °C — 44%;
- для температури 55 °C — 41%.

У період спадаючої швидкості сушіння (через 220 хв після початку процесу) ефект видалення вологи істотно залежить від температури. Через 260 хв при температурі сушіння 55 °C досягається видалення практично всієї вільної вологи (залишкова волога 10,4%); при температурі 45 °C залишкова вологість 10,8% досягається через 320 хв, а при 25 °C — лише через 600 хвилин.

З точки зору інтенсифікації процесу сушіння доцільною є температура 55 °C, однак при цьому частина білка піддається небажаному процесові — деструкції (частка білка при переході від 45 °C до 55 °C зменшується з 21,2% до 16,2%), і тому за оптимальну приймаємо температуру сушіння 45 °C.

На основі виконаних досліджень, аналізу літературних джерел, логічних міркувань цілком зрозуміло, що для отримання високобілкових грибних напівфабрикатів з точки зору органолептичних характеристик потрібно використовувати лише здорові, без механічних і мікробіологічних ушкоджень гриби, бажано одного розміру, відповідного кольору, аромату, стану поверхні, з'ємної зрілості. Тобто можна говорити про комплексний показник органолептичних властивостей як один із важливих критеріїв вибору сировини. Адже кожен ушкоджений та уражений об'єкт не лише погіршує якість готової продукції, а й є небезпечним з точки зору мікробіологічного забруднення; це підвищує трудомісткість підготовчих операцій, збільшує кількість відходів, зменшує вихід продукції та підвищує її собівартість.

Цей критерій має першочергове значення і при переробленні сировини, особливо якщо йдеться про низькотемпературні (–25 °C...–35 °C) або сублімаційні технології. Відомо (Сімахіна, Кочубей-Литвиненко, & Камінська, 2022), що при заморожуванні сировини виникає можливість руйнування її тканин та структурних компонентів кристалами утвореного льоду, в результаті при дефростації втрачається клітинний сік з розчиненими у ньому біокомпонентами, що істотно знижує біологічну цінність продукції.

У табл. 4 запропоновано перелік основних критеріїв вибору печериць для отримання високобілкових напівфабрикатів.

Таблиця 4. Основні критерії та їхня характеристика при виборі печериць для перероблення

№ поз.	Критерії	Характеристика критеріїв
1.	Високий вміст білка (6...8% і більше)	Істотне джерело повноцінного білка за вмістом незамінних амінокислот та їх співвідношення із замініми; важливе джерело лізину, фенілаланіну, лейцину, треоніну
2.	Біологічна цінність	Відповідність амінокислотного складу потребам організму людини для синтезу власних білків, ступінь перетравлюваності білків на рівні білків молока

3.	Коефіцієнт співвідношення масових часток білка і клітковини (4,5 і більше)	Ступінь неоднорідності анатомічних частин плодового тіла грибів за співвідношенням вмісту білків і клітковини, що впливає на перетравлюваність напівфабрикатів в організмі людини
4.	Оптимальний вміст клітковини	Належний ступінь перетравлювання біокомпонентів в організмі людини (при збільшеному вмісті клітковини процес ускладнюється) при одночасному забезпеченні декорпорації важких металів, радіонуклідів, інших токсикантів
5.	Достатній вміст вуглеводів	Здатність стимулювати синтез антитіл, підвищувати імунний захист, виявляти онкопротекторні властивості (полісахариди)
6.	Відносна початкова вологість 80...86%	Забезпечення досить інтенсивного процесу сушіння грибів, близько 90% вологі представлено вільною фракцією, яка легко видаляється
7.	Відсутність токсичних сполук, важких металів, канцерогенів, мікроорганізмів	Безпека для споживачів, екологічність виробництва, охорона природи
8.	Органолептичні показники	Гриби цілі, свіжі, здорові на вигляд, ніжки відділені або не відділені, запах характерний для свіжих печериць, поверхня шапки біла або кремова, гриби однорідні за ступенем зрілості, добре сформовані

Дотримання запропонованих критеріїв забезпечить вибір сировини, найбільш придатної для перероблення на напівфабрикати та дієтичні добавки з високим вмістом повноцінного легкозасвоюваного білка та інших важливих біокомпонентів.

Висновки

Важливим завданням організації виробництва грибних напівфабрикатів є добір вихідної сировини; для цього доцільно вивчити фонд культивованих грибів.

Специфічність технологічного виробництва грибних напівфабрикатів зумовлює істотні вимоги до сировини: високий вміст білка, інших біокомпонентів, відсутність токсичних сполук, достатня коагуляція білкової фракції, відсутність деструкції високомолекулярних сполук при сушінні тощо. Гриби за своїм біохімічним складом є досить цінним, порівняно з іншими харчовими продуктами, видом сировини з високим природним вмістом функціональних інгредієнтів.

Найбільш ефективним способом перероблення грибів на високоякісні продукти функціонального призначення є їх сушіння. Майбутнє у харчових технологіях, у тому числі в технологіях сушіння грибів, належить комбінованим технологічним процесам на основі використання низьких температур з багаточинними щадними впливами на біокомпоненти вихідної сировини. Саме це забезпечує їх максимальне збереження, отримання готових продуктів підвищеної біологічної цінності, що дає змогу використовувати їх у сфері оздоровчого, функціонального харчування.

Сушені гриби можна буде випускати з різним ступенем подрібнення та використовувати в різних галузях: для промислового виготовлення супів-концентра-

тів, у ресторанному господарстві — як приправу до м'яса й інших страв, як добавку до напівфабрикатів, кетчупів, паштетів, як смаковий матеріал тощо.

Література

Пасічний, В., Жабіна, О., Ястреба, Ю. (2009). Перспективи використання грибів у виробництві м'ясних і м'ясомістких консервів. *М'ясний бізнес*, 11(84), 32—33.

Сімахіна, Г. О., Кочубей-Литвиненко, О. В., Науменко, Н. В., Камінська, С. В. (2022). *Кріоушкодження та кріозахист у холодових технологіях*: монографія. Київ: Видавництво «Сталь».

Цизь, О. М. (2014). *Культивування їстівних грибів*: монографія. Київ: Центр учбової літератури.

Яценко, О. В. (2012). Харчова та біологічна роль їстівних та лікарських грибів в харчуванні населення. *Гігієна населених місць*, 59, 234—240.

Bakratsas, G., Polydera, A., Katapodis, P., Stamatis, H. (2021). Recent trends in submerged cultivation of mushrooms and their application as a source of nutraceuticals and food additives. *Future Foods*, 4, 100086.

Bernas, E., Jaworska, G. (2017). Culinary-Medicinal Mushroom Products as a Potential Source of Vitamin D. *International Journal of Medical Mushrooms*, 19(10), 925—935. Режим доступу: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29256846/> (access date 3.11.2021).

Calvo, M. S., Mehrotra, A., Beelman, R. B. et al. (2016). A Retrospective Study in Adults with Metabolic Syndrome: Diabetic Risk Factor Response to Daily Consumption of *Agaricus bisporus* (White Button Mushrooms). *Plant Foods for Human Nutrition*, 71, 245—251. Режим доступу: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11130-016-0552-7> (access date 01.02.2022).

Cardwell, G., Bornman, J. F., James, A. P., Black, L. J. (2018). A Review of Mushrooms as a Potential Source of Dietary Vitamin D. *Nutrients*, 10(10), 1498. Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2072-6643/10/10/1498> (access date 03.11.2021).

Chang, Shu-Ting (2006). The World Mushroom Industry: Trends and Technological Development. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 8(4).

Cultivation (2021). Medicinal mushroom cultivation in China. URL: <https://www.indigo-herbs.co.uk/blog/medicinal-mushroom-cultivation-china> (access date 29.01.2022).

Ferdousi, J., Al-Riyadh, Z., Hossain, Md. Ikbal (2020). Mushroom production: benefits, status, challenges and opportunities in Bangladesh: A review. *Annual Research & Review in Biology*, 34(6), 1—13.

Glamočlija, J., Stojković, D., Nikolić, M. et al. (2015). A comparative study on edible *Agaricus* mushrooms as functional foods. *Food & Function*, 6(6), 1900—1910. Режим доступу: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25954776/> (access date 07.10.2021).

Global Alternative Proteins Market (2020). Market Insights, Covid-19 Impact, Competition and Forecast (2020—2025). Режим доступу: <https://azothanalytics.com/report/food-beverage-and-agriculture/global-alternative-proteins-market-analysis-by-product-application-by-region-by-country-2020-edition-market-insights-covid-19-impact-competition-and-forecast-2020-2025> (access date: 7.10.2021).

Guan, Wenqiang, Zhang, Jie, Yan, Ruixiang, Shao, Suqin, Zhou, Ting, Lei, Jing, Wang, Zhidong (2016). Effects of UV-C treatment and cold storage on ergosterol and vitamin D₂ contents in different parts of white and brown mushroom (*Agaricus bisporus*). *Food Chemistry*, 210, 129—134.

Kumar, M., Turner, S. (2015). Protocol: a medium-throughput determination of cellulose content from single stem pieces of *Arabidopsis thaliana*. *Plant Methods*. 2015. Vol. 11. <https://doi.org/10.1186/s13007-015-0090-6>.

Martinez-Medina, G. A., Chávez-González, M. L., Kumar, Verma D. et al. (2021). Bio-funcional components in mushrooms, a health opportunity: Ergothionine and huitlacoche as recent trends. *Journal of Functional Foods*, 77, 104326. Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1756464620305508?via%3Dihub> (access date 07.10.2021).

Metrohm IC: Determination of Carbohydrates by mean sofion chromatography. Режим доступу: <https://www.metrohm.com/en-th/company/news/news-determination-of-carbohydrates-by-means-of-ion-chromatography/> (access date 29.01.2022).

Mubiana, F. S., Keumbo, L., Kadhila, N. P. (2012). Mushroom cultivation: A beginners guide. Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/339616804_MUSHROOM_CULTIVATION_A_BEGINNERS_GUIDE_SECOND_EDITION (access date 29.01.2022).

Redweik, S., Xu, Yuanhong, Watzig, H. (2012). Precise, fast and flexible determination of protein interactions by affinity capillary electrophoresis. *Electrophoresis*. Nov.; 33(22). P. 3316—3322. Doi: 10.1002/elps.201200181.

Sanket, Sh., Pravin, B. (2021). In-silico study of *Agaricus Bisporus* on DNA damaging protein. URL: https://www.researchgate.net/publication/354440643_In-silico_study_of_Agaricus_Bisporus_on_DNA_damaging_protein (access date 07.10.2021).

Simon, R. R., Phillips, K. M., Horst, R. L., Munro I. C. (2011). Vitamin D mushrooms: comparison of the composition of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) treated postharvest with UVB light or sunlight. *J. Agric. Food. Chem.* 2011, Aug, 24, 59(16), 8724—8732.

Simon, R. R., Borzelleca, J. F., De Luca, H. F., Weaver, C. M. (2013). Safety assessment of the post-harvest treatment of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) using ultraviolet light, *Food Chem. Toxicol.*, 56, 278—289. Режим доступу: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23485617/> (access date 05.11.2021).

Stojković, D., Reis, F. S., Glamočlija, J. et al. (2014). Cultivated strains of *Agaricus bisporus* and *A. brasiliensis*: chemical characterization and evaluation of antioxidant and antimicrobial properties for the final healthy product-natural preservatives in yoghurt. *Food & Function*, 5(7), pp. 1602—1612. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24881564/> (access date 07.10.2021).

Struminska-Parulska, D., Falandysz, J., Moniakowska, A. (2021). Beta-emitting radionuclides in wild mushrooms and potential radiotoxicity for their consumers. *Trends in Food Science & Technology*, 114, 672—683.

Synytsya, A., Mickova, K., Synytsya, A. et al. (2009). Glucans from fruit bodies of cultivated mushrooms *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus eryngii*: Structure and potential prebiotic activity. *Carbohydrate Polymers*, 76(4), 548—555.

Turck, D., Castenmiller, J., De Henauw, S., Hirsch-Ernst, K. (2021). Safety of Vitamin D₂ mushroom powder (*Agaricus bisporus*) as a Novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283. *EFSA Journal*, 19(4), 06516.

Urbain, P., Singler, F., Ihorst, G., Biesalski, H-K., Bertz, H. (2011). Bioavailability of vitamin D₂ from UV-B-irradiated button mushrooms in healthy adults deficient in serum 25-hydroxyvitamin D: a randomized controlled trial. *European Journal of Clinical Nutrition*, 65(8), 965—971.

PROTEIN SUBSTANCES OF RICE FLOUR AND ITS USE IN WHEAT BREAD TECHNOLOGY

A. Shevchenko

National University of Food Technologies

Key words:

Bread
Rice flour
Inflammatory bowel
diseases
Amino acid
Gluten

Article history:

Received 10.01.2023
Received in revised form
24.01.2023
Accepted 09.02.2023

Corresponding author:

A. Shevchenko
E-mail:
nastyusha8@ukr.net

ABSTRACT

The protein substances of the recipe components of bread determine not only its biological value, but also the structural characteristics of the dough for bakery products. In connection with the military aggression of the Russian Federation, the ecological, economic and food situation in the world has significantly worsened. This caused exacerbation of diseases, including those of the gastrointestinal tract, such as inflammatory bowel disease.

According to the recommendations of nutritionists, it is necessary to increase the content of complete protein with the maximum limitation of fiber in the diet of such patients. For this purpose, rice flour is a promising raw material with a low dietary fiber content.

Rice flour contains less amount of total protein than wheat flour, but it is more complete. It was established that the limiting amino acid of wheat flour is lysine, the amino acid score of which is 0.44, in rice flour it is 6.92. The limiting amino acid of rice flour is tryptophan, the amino acid score of which is 1.61. This indicates that rice flour is complete in terms of amino acid composition, since the amino acid score of the limiting amino acid is more than 1.

The difference in the protein composition of wheat and rice flour affects the structure of the dough. The content of raw gluten decreased when replacing part of the wheat flour with rice flour by 21.6—55.6% with an increase in the percentage of replacement. The elasticity, hydration capacity of gluten and its extensibility also decreased.

The limiting amino acid in all bread samples is lysine, but in the control sample its amino acid score is 0.46, while with an increase in the percentage of replacement of wheat flour with rice flour, it increased to 0.82—2.10. In the sample with the replacement of 20% flour and more, the amino acid score for lysine exceeds 1, which means that the protein of these samples is complete.

Considering the obtained results, it is worth replacing about 20% of wheat flour with rice flour.

БІЛКОВІ РЕЧОВИНИ РИСОВОГО БОРОШНА ТА ЙОГО ВИКОРИСТАННЯ В ТЕХНОЛОГІЇ ПШЕНИЧНОГО ХЛІБА

А. О. Шевченко

Національний університет харчових технологій

Білкові речовини рецептурних компонентів хліба значною мірою визначають не лише його біологічну цінність, а й структурні характеристики тіста для цих виробів. У зв'язку з військовою агресією російської федерації у світі значно погіршилась екологічна, економічна та продовольча ситуації. Це спричинило загострення захворювань, в тому числі шлунково-кишкового тракту, таких як запальні захворювання кишечника.

Згідно з рекомендаціями дієтологів у раціоні таких хворих варто підвищувати вміст повноцінного білка при максимальному обмеженні клітковини. З цією метою перспективною сировиною з низьким вмістом харчових волокон є рисове борошно.

Рисове борошно містить менше білка, ніж пшеничне, але він більш повноцінний. Встановлено, що лімітуючою амінокислотою пшеничного борошна є лізин, амінокислотний скор якої 0,44, у рисовому борошні — 6,92. Лімітуючою амінокислотою рисового борошна є триптофан, амінокислотний скор — 1,61. Це свідчить про те, що рисове борошно є повноцінним за амінокислотним складом, оскільки амінокислотний скор лімітуючої амінокислоти більше 1.

Різниця в білковому складі пшеничного і рисового борошна впливає на структуру тіста. Встановлено тенденцію зменшення вмісту сирової клейковини при заміні частини борошна пшеничного рисовим на 21,6—55,6% зі збільшенням відсотка заміни. Знижується також пружність, гідратаційна здатність клейковини та її розтяжність.

Лімітуючою амінокислотою в усіх зразках хліба є лізин, однак у контролі його амінокислотний скор 0,46, в той час як зі збільшенням відсотка заміни пшеничного борошна рисовим, він збільшується до 0,82—2,10. У зразку з заміною 20% борошна і більше амінокислотний скор за лізином перевищує 1. Це означає, що білок цих зразків є повноцінним.

Зважаючи на отримані результати, варто проводити заміну близько 20% пшеничного борошна рисовим.

Ключові слова: хліб, рисове борошно, запальні захворювання кишечника, амінокислота, клейковина.

Formulation of the problem. The protein substances of the recipe components of bread determine not only its biological value, but also the structural characteristics of the dough for bakery products (Sivam, Sun-Waterhouse, & Quek, Perera, 2010). In connection with the military aggression of the russian federation, the ecological, economic and food situation in the world has significantly worsened. This caused exacerbation of diseases, including those of the gastrointestinal tract, such as inflammatory bowel disease (IBD). To slow down the development of these diseases and maintain he-

alth, it is recommended to follow diet therapy (Burisch, & Munkholm, 2013; Stepanov, Skyrda, & Petishko, 2017).

According to the recommendations of nutritionists, it is necessary to increase the content of complete protein with the maximum limitation of fiber in the diet of such patients (Forbes та ін., 2017). For this purpose, rice flour is a promising raw material with a low dietary fiber content.

Analysis of recent research and publications. One of the effective ways to reduce the amount of dietary fiber in the diet is to replace recipe components with a high fiber content for raw materials with a reduced amount. Rice and its processed products contain little dietary fiber, but at the same time their protein is complete.

In addition, rice germ contains phenolic compounds and tocopherols, tocotrienols and γ -oryzanol which are lipophilic antioxidants. These substances extend the shelf life of products and protect from free radicals (Esa, Ling, & Peng, 2013).

Rice flour is widely used in gluten-free bread technologies. Protein, fat and fiber content was determined in bread made from traditional rice flour and high-protein flour. An organoleptic evaluation of gluten-free bread was carried out. Sensory evaluation included the analysis of appearance, aroma, texture and taste of bread. The protein content of bread made from traditional rice flour was 9.25%, with increased content — 10.1%. According to organoleptic indicators, both types satisfied the needs of consumers (Paz, King, & Prinyawiwatkul, 2021).

Studies evaluating the influence of rice nutritional compounds on consumer characteristics and sensory evaluation of bread showed that the content of arginine in different types of rice flour (from long-grain rice, polished round-grain rice and black rice) was higher by 44.19, 21.74 and 34.78% respectively, than in wheat flour. When the added amount of rice flour exceeds 15%, the prepared bread gradually loses its elasticity and has a lower specific volume (Tian, Wei, & Chen, 2022).

The main nutrients (crude protein, fat and carbohydrates) and nutritional components (vitamins A, C, E, minerals, amino acids and fatty acids) of rice flour were analyzed. The content of crude protein, fat, and carbohydrates in rice flour was 6.80 g, 0.14 g, and 84.43 g, respectively. No vitamin A was detected, and vitamin C and E were 8.30 and 0.3467 mg/100 g, respectively. The content of calcium, potassium, magnesium, iron and sodium was 6.23, 65.05, 9.78, 0.17 and 2.84 mg/100 g. A large amount of potassium contributes to the excretion of sodium. Rice flour contains eight essential amino acids. As for essential fatty acids, the content of linoleic acid was 41.01 mg/100 g, and linolenic acid was 2.20 mg/100 g (Lee, Jung, Jo, Back, Kim, & Park, 2018).

The effect of replacing wheat flour with 5%, 10% and 15% protein concentrates from natural and yeast-fermented rice bran on the rheological properties of dough and bread was studied. The specific volume of bread from 100% wheat flour did not differ significantly from bread with up to 10% protein concentrate replacement. The optimized composite bread contained higher total amino acid content, radical scavenging activity and iron reducing capacity than the control sample. The springy indicators of wheat bread did not differ significantly from composite bread. Scanning electron microscopy revealed that the composite bread has a surface with embedded granules similar to protein deposits with small pores (Chinma, Ilowefah, Shammugasamy, Mohammed, & Muhammad, 2015).

Since it is not recommended to completely exclude gluten from the diet during diet therapy for people with IBD, replacing wheat flour with rice flour is a promising direction. The relationship between the properties of rice flour with different degree of damage of starch grains and the specific volume of bread made from a mixture of rice and wheat flour was studied. The best quality flour was obtained by fine grinding and the absence of a large number of damaged starch grains to make high quality bread (Araki, 2009).

The purpose of the research is to determine the content and completeness of protein substances of wheat bread with rice flour and their influence on structural properties of dough and sensory characteristics of bread.

Materials and methods. *Sample preparation.* Dough samples were prepared from wheat flour with the addition of pressed baker's yeast (3% by weight of flour) and salt (1.5% by weight of flour). Wheat flour was replaced with rice flour in the recipe in the amount of 10% and 20%. The control was a sample without rice flour.

Essential amino acid (EAA) composition. For determination amino acid composition method of ion exchange chromatography was used (Litvynchuk et. al., 2022). The qualitative determination of amino acids was carried by hydrolysis of proteins. The determination of quantitative estimation of amino acids was held using an automatic analyzer of amino acids, T-339 (Czech Republic), using polystyrene sulfonate ion exchange resins of "Ostion LJ ANB" in Li-citrate buffer one-column mode. The elution of amino acids from the column was conducted, in turn, by Li-citrate buffers from pH 2.75 ± 0.01 ; pH 2.95 ± 0.01 ; pH 3.2 ± 0.02 ; pH 3.8 ± 0.02 ; pH 5.0 ± 0.2 . Amino acids were detected by rectification with a ninhydrin solution using photometer (Unicam SP 800, Britain) at a wavelength of 560 nm. The results of detection in the form of the peaks of absorption of light of ninhydrin positive substances in an eluent that count the direct ratio concentrations of this substance in solution were registered by a variplotter. The correlation of the solution of ninhydrin reagent and eluents was 1:2; the temperature of thermostatic $T_1 = 38.5^\circ \text{C}$; $T_2 = 65^\circ \text{C}$. The prototype was diluted in Li-citrate buffer by pH 2.2 ± 0.02 and inflicted on an ion exchange column. The quantitative estimation of chromatograms of the pre-production model settled in relation to the Bio-Rad standard mixture of amino acids. The mass of every amino acid in the investigated solution was calculated and expressed as g per 100 g protein. Amino acid score is expected according to the certificate scale of THEO/WHO (Choi et. al., 2012).

Wet gluten content. Wet gluten content of the dough samples was determined according to methods stated in SR ISO 21415-1:2007 and in Manual de gradare pentru seminte de consum (2008) and through GIM (AACC 38-12.02 method) using the Glutomatic 2200 system (Perten Instruments AB). The moisture content was determined according to the SR ISO 712:2005 method, the protein content by the NIR technique (Inframatic, model 8600, Perten Instruments AB), and the gluten deformation according to the SR ISO 90/2007 (Ionescu, Stoenescu, Vasilean, Aprodu, & Banu, 2010).

Gluten deformation index. The gluten deformation index values for all samples were determined using Gluten deformation index device. 4 g of sample of wet gluten was left for keeping for 15 min in distilled water. Then it was put on the table of the device. The rod of the device lowered and the device fixed the value of the deformation (Tamba-Berehoiu, Lambrache, & Popa, 2019).

Statistical analysis. The statistical processing of the result values was performed by sequential regression analysis using the Microsoft Excel XP and Origin Pro8 software calculating correlation coefficients (Hinkle, Wiersma, & Jurs, 2003).

Results and discussion. Rice flour contains less amount of total protein than wheat flour — 6 та 11,3 g/100 g of flour, respectively. However, despite this, the content of the majority of essential amino acids (EAA) is higher (Table. 1).

Table 1. Amino acid composition of rice and wheat flour

EAA	EAA content, g/100 g of raw material	
	Wheat flour of premium grade	Rice flour
Valine	0.42	4.21
Isoleucine	0.36	3.31
Leucine	0.71	6.20
Lysine	0.23	2.59
Methionine	0.40	3.00
Threonine	0.28	2.41
Tryptophan	0.13	0.10
Phenylalanine	0.52	6.62

To assess the completeness of protein substances, the amino acid score of each amino acid was calculated. It was established that the limiting amino acid of wheat flour is lysine, the amino acid score of which is 0.44, in rice flour it is 6.92. The limiting amino acid of rice flour is tryptophan, the amino acid score of which is 1.61. This indicates that rice flour is complete in terms of amino acid composition, since the amino acid score of the limiting amino acid is more than 1. The introduction of this raw material into the recipe of wheat bread is not able to increase the total protein content, but an increase in the degree of balance of essential amino acids in relation to the physiologically necessary norm is expected. It is also predicted that protein will be used more fully for anabolic needs by the body.

The fractional composition of the protein of rice flour also differs from that of wheat flour. It was established (Shevchenko, & Litvynchuk, 2022) that the content of glutelins and globulins is higher in rice flour, but the composition of glutelins is different. In wheat flour, it is glutenin which forms the gluten of the dough (Huang, Tsai, & Chen, 2011).

In rice flour, the representative of glutelins is oryzenin, which is not a gluten protein (Jayaprakash, Bains, Chawla, Fogarasi, & Fogarasi, 2022). The content of albumin, prolamin and insoluble proteins prevails in wheat flour.

The difference in the protein composition of wheat and rice flour affects the structure of the dough, changing the basic structural units of dough and bread with these components in the recipe.

An important indicator of the structural and mechanical properties of the dough is the amount and quality of gluten washed from it. Since there are no gluten proteins in rice flour, a change in the structure of the gluten framework of the dough is predicted when part of the wheat flour is replaced by rice flour (Table 2).

Table 2. The quantity and quality of gluten washed from the dough

Sample	Amount of rice flour to replace wheat flour, %	Amount of wet gluten, %	Amount of dry gluten, %	Value of GDI, units	Hydration capacity, %	Extensibility, sm
Control sample	—	25.30±1.23	8.5	70	195.5	15.2
Sample with rice flour	10	19.82±1.18	6.72	89	186.7	15.1
	20	15.46±1.02	5.25	94	182.1	14.8
	30	13.20±0.93	4.48	101	175.2	14.2
	40	11.24±0.43	3.82	107	169.3	13.8

The content of raw gluten decreased when replacing part of the wheat flour with rice flour by 21.6—55.6% with an increase in the percentage of replacement. The elasticity, hydration capacity of gluten and its extensibility also decreased. Rice flour weakens gluten. The decrease in hydration capacity occurs as a result of the physical obstruction of rice starch particles to hydration and the development of the gluten network. The strength of the dough is related to gluten proteins, and replacing wheat flour with rice flour causes their dilution, which can disrupt the integrity of the protein matrix (Ahmad et. al., 2017; Pu et. al., 2017).

The maximum weakening of protein was observed when replacing wheat flour with rice at the level of 40%. This can be explained by a greater disruption of the protein matrix, as replacing wheat flour with rice flour reduces the gluten content. The absence of a gluten protein network in rice flour prevents the formation of a strong viscoelastic structure.

Wheat flour contains more bran, which is a source of the endogenous starch-hydrolyzing enzyme alpha-amylase, while replacing wheat flour with rice flour reduced the enzyme content (Gujral, Sharma, & Singh, 2019; Kaur, Singh, Pal, & Kaur, 2018).

The amino acid composition of raw materials determines the biological value of finished bakery products. The amino acid profile of bread baked with the replacement of part of wheat flour with rice flour was determined. The results are shown in Table 3.

Table 3. Amino acid composition of bread baked with the replacement of part of wheat flour with rice flour

EAA	Control sample	Rice flour to replace wheat flour, %			
		10	20	30	40
Leucine	0.71	1.00	1.33	1.68	2.08
Isoleucine	0.39	0.64	0.92	1.23	1.58
Methionine	0.31	0.52	0.76	1.03	1.32
Lysine	0.23	0.41	0.61	0.83	1.08
Phenylalanine	0.68	1.09	1.56	2.07	2.65
Threonine	0.28	0.50	0.73	1.00	1.29
Valine	0.43	0.71	1.02	1.37	1.76
Tryptophan	0.09	0.09	0.10	0.10	0.11

The amino acid score of each amino acid in bread samples was calculated (Table 4).

Table 4. Amino acid score of amino acids in bread baked with the replacement of part of wheat flour with rice flour

EAA	Control sample	Rice flour to replace wheat flour, %			
		10	20	30	40
Leucine	1.11	1.56	2.05	2.59	3.19
Isoleucine	1.06	1.74	2.49	3.32	4.23
Methionine	0.97	1.63	2.35	3.16	4.05
Lysine	0.46	0.82	1.20	1.63	2.10
Phenylalanine	1.23	1.98	2.81	3.72	4.74
Threonine	0.77	1.34	1.98	2.68	3.46
Valine	0.93	1.54	2.21	2.95	3.78
Tryptophan	0.98	1.02	1.06	1.10	1.15

Since the percentage of wheat flour in the bread recipe is the highest, its chemical composition will largely determine the biological value of the bread. The limiting amino acid in all bread samples is lysine, but in the control sample its amino acid score is 0.46, while with an increase in the percentage of replacement of wheat flour with rice flour, it increased to 0.82—2.10. In the sample with the replacement of 20% flour and more, the amino acid score for lysine exceeds 1, which means that the protein of these samples is complete.

Trial baking (Figure 1) and expert evaluation of products with the participation of tasters were carried out. The results were processed by the method of mathematical statistics (Table 5).



Figure 1. Samples of bread with the replacement of part of the wheat flour with rice flour:
1 — control sample; 2 — replacement of 10%; 3 — replacement of 20%; 4 — replacement of 30%;
5 — replacement of 40%

Table 5. Sensory assessment of the bread on a 100-point scale taking into account the weighting factor of quality indicators

Indicators	Weighting factor	Control sample	Rice flour to replace wheat flour, %			
			10	20	30	40
Specific volume of bread, cm ³ /100 g	0.15	4.6±0.3	4.7±0.3	3.5±0.3	2.5±0.3	2.0±0.3

Shape stability of bread, baked without form	0.15	convex upper crust 5.0±0.3	convex upper crust 4.3±0.3	convex upper crust 3.5±0.3	convex upper crust 2.5±0.3	convex upper crust 2.0±0.3
Color of the crust	0.05	light yellow 5.0±0.3	light yellow 5.0±0.3	light yellow 5.0±0.3	pale 4.0±0.3	pale 3.0±0.3
Surface condition	0.05	smooth, without cracks 5.0±0.1	with cracks 4.6±0.1	with significant cracks 3.9±0.1	with large cracks 3.0±0.1	with large cracks 2.0±0.1
Color of the crumb	0.05	light 5.0±0.1	light 5.0±0.1	light 4.7±0.1	light 4.5±0.1	light 4.0±0.1
Porosity structure	0.09	even, small thin-walled 4.8±0.3	even, small thin-walled 4.8±0.3	even, small thin-walled 4.8±0.3	not developed 3.5±0.3	not developed 3.0±0.3
Elasticity of the crumb	0.12	elastic 4.8±0.1	elastic 5.0±0.1	elastic 5.0±0.1	not elastic 4.0±0.1	not elastic 4.0±0.1
Aroma	0.11	inherent in the product 4.6±0.3	inherent in the product 4.8±0.3	inherent in the product 4.8±0.3	inherent in the product 4.8±0.3	inherent in the product 4.8±0.3
Taste	0.13	inherent in the product 4.8±0.3	inherent in the product 4.8±0.3	inherent in the product 4.8±0.3	inherent in the product 4.8±0.3	inherent in the product 4.8±0.3
Chewiness of the crumb	0.10	good chewiness 5.0±0.1	good chewiness 5.0±0.1	good chewiness 5.0±0.1	good chewiness 5.0±0.1	good chewiness 5.0±0.1
Score (out of 100 points)		97.2±0.2	96.0±0.2	90.0±0.2	77.2±0.2	69.2±0.2

The analysis of baked products indicates the appearance of cracks on the surface of samples with 20—40% replacement of wheat flour with rice flour. There is also a decrease in specific volume, porosity and dimensional stability, which was established in previous studies (Дробот, Шевченко, & Літвинчук, 2021).

Expert assessment and sensory indicators of the products indicated that in order to obtain bakery products of high quality and complete in terms of amino acid composition, it is worth replacing about 20% of wheat flour with rice flour.

Conclusions

Rice flour contains less amount of total protein than wheat flour, but it is more complete. It was established that the limiting amino acid of wheat flour is lysine, the amino acid score of which is 0.44, in rice flour it is 6.92. The limiting amino acid of rice flour is tryptophan, the amino acid score of which is 1.61. This indicates that rice flour is complete in terms of amino acid composition, since the amino acid score of the limiting amino acid is more than 1.

The content of raw gluten decreased when replacing part of the wheat flour with rice flour by 21.6—55.6% with an increase in the percentage of replacement. The elasticity, hydration capacity of gluten and its extensibility also decreased.

The limiting amino acid in all bread samples is lysine, but in the control sample its amino acid score is 0.46, while with an increase in the percentage of replacement of

wheat flour with rice flour, it increased to 0.82—2.10. In the sample with the replacement of 20% flour and more, the amino acid score for lysine exceeds 1, which means that the protein of these samples is complete.

Considering the obtained results, it is worth replacing about 20% of wheat flour with rice flour.

References

- Дробот, В. І., Шевченко, А. О., Літвинчук, С. І. (2021). Вплив рисового борошна на структурно-механічні властивості тіста та якість хліба. *Наукові праці НУХТ*, 27(5), 114—122. <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2021-27-5-15>.
- Ahmad, U., Alfaro, L., Awudzi, M. Y., Kyereh, E., Dzandu, B., Bonilla, F., Chouljenko, A., Sathivel, S. (2017). Influence of milling intensity and storage temperature on the quality of Catahoula rice (*Oryza sativa* L.). *LWT — Food Science and Technology*, 75, 386—392. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.09.014>.
- Araki, E., Ikeda, T., Ashida, K., Takata, K., Yanaka, M., Iida, S. (2009). Effects of rice flour properties on specific loaf volume of one-loaf bread made from rice flour with wheat vital gluten. *Food Science and Technology Research*, 15(4), 439—448. <https://doi.org/10.3136/fstr.15.439>.
- Burisch, J., Munkholm, P. (2013). Inflammatory bowel disease epidemiology. *Current Opinion in Gastroenterology*, 29(4), 357—62.
- Chinma, C. E., Ilowefah, M., Shammugasamy, B., Mohammed, M., Muhammad, K. (2015). Effect of addition of protein concentrates from natural and yeast fermented rice bran on the rheological and technological properties of wheat bread. *International Journal of Food Science & Technology*, 50, 290—297. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12619>.
- Choi, Y. S.; Kim, H. W.; Hwang, K. E.; Song, D. H.; Park, J. H.; Lee, S. Y.; Choi, M. S.; Choi, J. H.; Kim, C. J. (2012). Effects of pumpkin (*Cucurbita maxima* Duch.) fiber on physicochemical properties and sensory characteristics of chicken frankfurters. *Food Science of Animal Resources*, 32, 174—183. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2012.32.2.174>.
- Esa, N. M., Ling, T. B., Peng, L. S. (2013). By-products of Rice Processing: An Overview of Health Benefits and Applications. *Journal of Rice Research and Developments*, 1, 107. <https://doi.org/10.4172/jrr.1000107>.
- Forbes, A., Escher, J., Hébuterne, X., Kłęk, S., Krznaric, Z., Schneider, S. ... Bischoff, C. (2017). Clinical nutrition in inflammatory bowel disease. *Clinical Nutrition*, 36(2), 321—347.
- Gujral, H. S., Sharma, B., Singh, P. (2019). Utilization of flour from rice brokens in wheat flour chapatti: evaluation of dough rheology, starch digestibility, glycemic index and retrogradation behavior. *Journal of Food Science and Technology*, 56(5), 2490—2500. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03726-5>.
- Hinkle, D. E., Wiersma, W., & Jurs, S. G. (2003). *Applied statistics for the behavioral sciences*. Boston, Mass: Houghton Mifflin. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824135-6.00030-1>.
- Huang, S. C., Tsai, Y. F., Chen, C. M. (2011). Effects of wheat fiber, oat fiber on sensory and physico-chemical properties of Chinese-style sausages. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 24, 875—880. <https://doi.org/10.5713/ajas.2011.10317>.
- Ionescu, V., Stoenescu, G., Vasilean, I., Aprodu, I., Banu, I. (2010). Comparative evaluation of wet gluten quantity and quality through different methods. *Annals of the University Dunarea de Jos of Galati. Fascicle VI: Food Technology*. 34(2), 44—48.
- Jayaprakash, G., Bains, A., Chawla, P., Fogarasi, M., Fogarasi, S. (2022). A Narrative Review on Rice Proteins: Current Scenario and Food Industrial Application. *Polymers*, 14(15), 3003. <https://doi.org/10.3390/polym14153003>.
- Kaur, P., Singh, N., Pal, P., Kaur, A. (2018). Traditional and improved paddy varieties: Composition, protein, pasting, and gluten-free chapati making properties. *Cereal Chemistry*, 95, 666—678. <https://doi.org/10.1002/cche.10080>.

- Lee, Y. R., Jung, D. W., Jo, E., Back, S. W., Kim, S. Y., Park, Y. S. (2018). Nutritive Components of Rice Powder and Development of Rice Bread Recipes using Rice Flour. *The Korean Journal of Food And Nutrition*, 31(3), 441—448. <https://doi.org/10.9799/KSFAN.2018.31.3.441>.
- Litvynchuk, S., Galenko, O., Cavicchi, A., Ceccanti, C., Mignani, C., Guidi, L., Shevchenko, A. (2022). Conformational Changes in the Structure of Dough and Bread Enriched with Pumpkin Seed Flour. *Plants*, 11, 2762. <https://doi.org/10.3390/plants11202762>.
- Paz, G. M., King, J. M., Prinyawiwatkul, W. (2021). High Protein Rice Flour in the Development of Gluten-Free Bread. *Journal of Culinary Science & Technology*, 19(4), 315—330. <https://doi.org/10.1080/15428052.2020.1768994>.
- Pu, H., Wei, J., Wang, L., Huang, J., Chen, X., Luo, C., Liu, S., Zhang, H. (2017). Effects of potato/wheat flours ratio on mixing properties of dough and quality of noodles. *Journal of Cereal Science*, 76, 236—242. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.06.020>.
- Shevchenko, A., Litvynchuk, S. (2022). Influence of rice flour on conformational changes in the dough during production of wheat bread. *Ukrainian Journal of Food Science*, 10(1), 5—15.
- Sivam, A. S., Sun-Waterhouse, D., Quek, S., Perera, C. O. (2010). Properties of bread dough with added fiber polysaccharides and phenolic antioxidants: a review. *Journal of Food Science*, 75(8), 163—74. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01815.x>.
- Stepanov, Y., Skyrda, I., Petishko, O. (2017). Chronic inflammatory bowel diseases: epidemiological features in Ukraine. *Gastroenterology*, 51(2), 97—105.
- Tamba-Berehoiu, R., Lambrache, N., Popa, C. (2019). Assessment of Gluten Index Component Wet Gluten Remaining on the Sieve as Predictor of Wheat Bakery Potential. *Revista de Chimie — Bucharest-Original Edition*, 70(11), 3994. <https://doi.org/10.37358/RC.19.11.7690>.
- Tian, S., Wei, Y., Chen, Z. (2022). Effect of mixture design approach on nutritional characteristics and sensory evaluation of steamed bread added rice flour. *Frontiers in Nutrition*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.989090>.

THEORETICAL ASPECTS OF APPROPRIATENESS GLUTEN-FREE CUPCAKES ENRICHED WITH COTTAGE CHEESE FOR RESTAURANTS

A. Pohorelska, O. Pavliuchenko, O. Kuzmin, V. Polevik, I. Sylka

National University of Food Technologies

Key words:

Rice flour
Almond flour
Gluten-free cupcake
Fortified with cottage cheese
Low-fat content cupcakes

Article history:

Received 10.01.2023
Received in revised form
23.01.2023
Accepted 06.02.2023

Corresponding author:

A. Pohorelska
E-mail:
nastua184@gmail.com

ABSTRACT

In this article, the experience of using gluten-free flour for special-purpose confectionery products for restaurants was analyzed. Fortified cupcakes have high customer appeal and a higher nutritional value. A mix of rice and almond flour as an alternative to wheat flour, and cottage cheese with a fat content of 5% as source of protein were selected.

The nutrition value, energy content, and biological value of the chosen raw materials (rice flour, almond flour and cottage cheese) were determined. A recipe for low-fat (less than 2,3 times) cupcakes with high protein content (more than 1,7 times) was created. The possibility of replacing wheat flour with other types of flour, such as rice flour and almond flour, in the ratio 2:1 was confirmed. The possibility of replacing a portion of the butter with cottage cheese in a 1:2:3 ratio was established.

In the process of analyzing organoleptic properties, profile-graphics compositions for various properties like color, smell, shape, taste, and texture were made. The result shows that the new cupcakes have high-quality properties; the main difference is 24% due to the fact that the products have different taste, structure, and amount of water when compared to the control sample.

Indicators for new cupcakes, such as moisture content (increasing to 5%) were determined. New cupcakes have a reduced fat content (43%) compared to the control sample.

As a result of the experiments, the recipe for new fortified cupcakes for restaurants with high customer properties, nutrition, biological value, and low energy value was researched and justified. The new fortified cupcakes have good nutrition value with a high level of essential amino acids, which proves that the balance of essential amino acids is about the physiologically necessary norm.

ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ДОЦІЛЬНОСТІ СТВОРЕННЯ БЕЗГЛЮТЕНОВИХ КЕКСІВ, ЗБАГАЧЕНИХ СИРОМ КИСЛОМОЛОЧНИМ, ДЛЯ ЗАКЛАДІВ РЕСТОРАННОГО ГОСПОДАРСТВА

А. С. Погорельська, О. С. Павлюченко, О. В. Кузьмін, В. В. Польовик,
І. М. Силка

Національний університет харчових технологій

У статті проаналізовано досвід використання безглютенових видів борошна в технології борошняних кондитерських виробів спеціального призначення, зокрема борошняних кондитерських виробів з високими споживчими властивостями та покращеною харчовою й біологічною цінністю.

Визначено харчову, енергетичну та біологічну цінність обраних сировинних інгредієнтів та з'ясовано, що рисове борошно, порівняно з пшеничним, містить більшу кількість вуглеводів (до 80%), меншу на 2% частку білка та майже не відрізняється від пшеничного за вмістом жирів (близько 1%). Мигдалеве борошно, на відміну від пшеничного, характеризується значним вмістом білків (39%) і жирів (8,4%) та значно меншим вмістом вуглеводів (13%). Встановлено, що серед дослідних зразків борошна найвищу калорійність має рисове, а найнижчу мигдалеве борошно — 365 та 283 ккал відповідно.

Досліджено біологічну цінність рисового, мигдалевого борошна, сиру кисло-молочного жирністю 5% як збагачувача білка та встановлено, що найбільшу кількість незамінних амінокислот містить сир кисло-молочний жирністю 5% (5572 мг/100 г білка), який значно перевищує рисове борошно за всіма незамінними амінокислотами, проте характеризується децю меншим, порівняно з мигдалевим борошном, вмістом лейцину, ізолейцину та триптофану — на 76, 18 та 24 мг/100 г білка відповідно.

Встановлено можливість повної заміни в рецептурі кексу «Столичний» борошна пшеничного на суміш рисового та мигдалевого у співвідношенні 2,2:1 відповідно та часткову заміну масла вершкового на сир кисло-молочний жирністю 5% у співвідношенні компонентів 1:2,3. Визначено, що використання рисового, мигдалевого борошна та сиру кисло-молочного жирністю 5% у рецептурі кексу «Столичний» сприяє збільшенню вологості готових виробів на 5%. Отримані вироби характеризуються зменшенням вмістом жирів у 2,3 раза та збільшеною часткою білків у 1,7 раза порівняно з контролем.

Удосконалена рецептура дає змогу отримати кекси з високою біологічною цінністю і коефіцієнтом утилітарності 1, що доводить збалансованість незамінних амінокислот за співвідношенням до фізіологічно необхідної норми.

Ключові слова: рисове борошно, мигдалеве борошно, кекси, безглютенові кекси, сир кисло-молочний.

Постановка проблеми. Останніми роками лідируючі позиції серед сучасних гастротрендів впевнено займає продукція здорового харчування, при розробці якої

науковці та виробники намагаються максимально враховувати збалансованість раціону у співвідношенні основних нутрієнтів: білків, жирів, вуглеводів, мікро- та макроелементів, вітамінів, зменшити частку цукру та солі і збільшити кількість харчових волокон у готовій продукції (Чумак, 2022). Крім того, враховують те, що споживачі закладів ресторанного господарства особливу увагу звертають на наявність в асортименті продукції вегетаріанських, безглютенових і безлактозних страв чи виробів.

Кекси є улюбленими кондитерськими виробами більшості українців, адже їм властиві привабливий зовнішній вигляд, солодкий смак і приємний аромат. Саме тому вони займають вагоме місце в асортименті кафе-кондитерських, кафе-пекарень, десерт-барів, кількість яких на ринку ресторанного господарства, незважаючи на воєнний стан, лише зростає.

У середньому на 100 грамів кексів, виготовлених за класичною рецептурою, припадає близько 54 грами вуглеводів, 19 грамів жирів, які представлені насиченими тваринними жирами та 6,5 грама білків. Калорійність — 416 ккал на 100 г виробу, що складає 20% від денної норми. Також з точки зору нутриціології та раціонального збалансованого харчування кекси не можуть бути виробами щоденного вжитку, адже для них характерна низька біологічна цінність через низький вміст білків, харчових волокон, вітамінів і мікроелементів. Вживання таких виробів на постійній основі може призвести до ряду проблем із здоров'ям: розвитку серцево-судинних захворювань, проблем із шлунком, шкірою, ожиріння (Konar, Gunes, & Toker, 2022). Крім того, наявність у рецептурному складі кексів пшеничного борошна обмежує їх споживання людьми хворими на целиацію.

Раніше вважалось, що целиація — це дуже рідкісне захворювання, на яке хворіють тільки діти. Після того, як всередині XIX ст. з'явилась можливість діагностики целиації за допомогою спеціальних серологічних досліджень крові, уява про це захворювання суттєво змінилась. Встановлено, що целиація (глютенова ентевропатія) — достатньо розповсюджене захворювання серед різних груп населення. Ця патологія зустрічається не тільки в дітей, але й у дорослого населення (Babich, & Vikhot, 2016).

Оскільки єдиним ефективним методом лікування та профілактики захворювання є дотримання дієти, то одним з актуальних напрямів для закладів ресторанного господарства залишається розробка безглютенових кондитерських виробів (Makharia, Singh, & Bai, 2022).

Отже, кекси належать до виробів, в рецептурі яких доцільно замінити пшеничне борошно на альтернативні його види, збагатити білком, зменшити, наскільки це можливо, вміст жирів і цукру та з урахуванням рецептурних компонентів удосконалити їх технологію.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Можливість повної заміни борошна пшеничного в рецептурах борошняних кондитерських виробів підтверджена науковими розробками під керівництвом А. М. Дорохович, К. Г. Іоргачової, В. В. Дорохович, О. В. Самохвалової, Т. І. Юдіної, В. В. Євлаш, Hiroyuki Yano та інших.

Доцільність використання рисового, гречаного та кукурудзяного борошна в технології бісквітів була доведена рядом досліджень, в яких автори стверджують, що внесення до рецептури рисового борошна не потребує використання по-

ліпшувачів, оскільки отримані вироби характеризуються високою якістю. У той же час дозування кукурудзяного та гречаного борошна вимагає застосування додаткових компонентів для поліпшення структури печива: кукурудзяного крохмалю для продуктів з гречаного борошна та інуліну BENEOTM ST — для бісквіту з кукурудзяного борошна (Басай, & Павлюченко, 2017; Дорохович, Гріцевич, & Ісакова, 2015).

Результати проведених досліджень комплексної оцінки якості мафінів шоколадних за методом Харрінгтона підтверджують можливість повної заміни пшеничного борошна на кокосове та борошно з коричневого рису в співвідношенні 40:60% відповідно (Shapovalenko, Pavliuchenko, & Kuzmin, 2020).

Також встановлено, що використання в технології хліба рисового борошна з низьким вмістом крохмалю дає змогу отримати готові вироби з високими показниками якості без додаткових стабілізаторів. (Yano, Fuku, & Villeneuve, 2017).

При заміні пшеничного борошна на рисове та мигдальне в печиві підвищується рівень мінеральних речовин, білка та харчових волокон. Також стверджується, що для створення печива з високими сенсорними показниками варто ретельно підібрати співвідношення основної сировини, щоб досягти необхідної структури. (Yildiz, 2021).

При розробці безглютенових виробів на основі композиційної суміші, що складається з кукурудзяного та рисового видів борошна та молочно-білкового концентрату сколотин як збагачувача, було виявлено, що доцільно використовувати саме суміш двох видів борошна. Такі кекси будуть мати вищі органолептичні показники з підвищеною харчовою цінністю (Юдіна, Безрученко, & Павлюченко, 2019).

Ряд наукових досліджень технології мафінів на основі безглютенового борошна підтверджує необхідність включення до рецептури мікробних полісахаридів, таких як ксантан, гелан для стабілізації структури м'якуша за відсутності глютену та покращення показників виробів (питомий об'єм, пористість тощо) (Mykhaylov, Samokhvalova, & Choni, 2019).

Часткова заміна (до 50%) пшеничного борошна на лляне в технології пісочного печива призводить до зміни кольору поверхні та створює тріщинки, але суттєво не погіршує органолептичні показники, тому такі вироби можна допускати до реалізації (Євлаш, Газзаві-Рогозіна, & Сеногонова, 2021).

Як збагачувач кексів білком може бути використано сир кисломолочний з вмістом білка 15...20%. Під час удосконалення рецептури слід враховувати, що дозування збагачувального інгредієнта повинно забезпечувати 20...50% добової потреби в ньому.

Білок сиру кисломолочного складається переважно з казеїну та сироваткових білків, які легко засвоюються організмом людини. Він містить незамінні амінокислоти, які позитивно впливають на нервову систему, кровотворення, травну систему (Henderson, 2011).

Закладам ресторанного господарства варто переглянути деякі позиції з наявного вже асортименту продукції та внести корективи в рецептурний склад і технологію виготовлення згідно з вимогами потенційних споживачів (Медвідь, Шидловська, & Доценко, 2020). Виробництво безглютенових кондитерських виробів, збагачених білком, за рахунок використання сиру кисломолочного дасть змогу

розширити асортимент продукції та залучити до закладів додаткові потоки відвідувачів, які віддають перевагу здоровому харчуванню.

Мета статті: вивчення впливу сиру кисломолочного на показники якості безглютенових кексів з метою удосконалення їхнього рецептурного складу та технології виготовлення для закладів ресторанного господарства.

Матеріали і методи. Об'єктом дослідження була технологія кексів. Як предмет дослідження обрано рисове та мигдальне борошно торговельних марок «World's Rice» та «SoloSvit» відповідно, сир кисломолочний 5% жирності торговельної марки «Біло», кекси виготовлені за традиційною та удосконаленою рецептурою з повною заміною борошна пшеничного, збагачені сиром кисломолочним.

Органолептичні показників якості дослідних зразків кексів проводили шляхом дегустації з подальшим оцінюванням за 10-бальною шкалою. Відповідно до вимог ДСТУ 4683:2006 «Вироби кондитерські. Методи визначення органолептичних показників якості, розмірів, маси нетто і складових частин».

Вологість і лужність визначали згідно з ДСТУ 4910:2008 «Вироби кондитерські. Методи визначення масових часток вологи та сухих речовин» та ДСТУ 5024:2008 «Вироби кондитерські. Методи визначення кислотності та лужності» відповідно. Харчову та енергетичну цінність проводили розрахунковим методом.

Біологічну цінність білків сировини та удосконалених кексів проводили шляхом порівняння вмісту кожної незамінної амінокислоти у складі білка з вмістом цієї самої амінокислоти у так званому «ідеальному» еталонному білку амінокислотної шкали Комітету FAO/BOOЗ (Litvynchuk та ін., 2022).

Статистичне оцінювання результатів проводилося методом послідовного регресійного аналізу за допомогою Microsoft Excel.

Результати і обговорення. Відповідно до сучасних уявлень про раціональне харчування була розроблена рецептура аглютенових кексів, збагачених білком за рахунок внесення сиру кисломолочного.

Для розробки борошняних кондитерських виробів використовували безглютенові рисове та мигдальне знежирене борошно. Вони є легкодоступними на ринку та відрізняються кращим нутрієнтним складом порівняно з пшеничним борошном (табл. 1).

Таблиця 1. Вміст нутрієнтів у різних видах борошна

Нутрієнт	Вміст у 100 грамах		
	пшеничне борошно ТМ «Хуторок»	рисове борошно ТМ «World's Rice»	мигдалеве борошно ТМ «SoloSvit»
Білки	10	8	39
Жири	0,9	1	8,4
Вуглеводи	74	81	13
Цукри	1	—	3
Харчові волокна	4	0,8	9
Сіль	0,01	—	0,03
РНЕ	515 мг	400 мг	1100 мг
Калорійність	327 ккал	365 ккал	283 ккал

Примітка: дані з відкритих джерел.

Аналіз даних табл. 1 вказує на доцільність створення композиційної суміші з рисового та мигдалевого знежиреного борошна. Використання рисового борошна дасть змогу покращити реологічні властивості готових виробів за рахунок значної кількості вуглеводів до 81%, що представлені переважно крохмалем. Мигдальне борошно сприятиме збільшенню вмісту білків, яких на 29% більше порівняно з пшеничним борошном. Також мигдальне борошно містить понад 8% жирів, які представлені переважно ненасиченими жирними кислотами, та до 9% харчових волокон.

У ході попередніх досліджень було підтверджено можливість повної заміни пшеничного борошна на мікс рисового і мигдального та доцільність використання для збагачення кексів білком сиру кисломолочного (Павлюченко, & Погорельська, 2021; Павлюченко, & Погорельська, 2022). Біологічну цінність обраної сировини наведено в табл. 2.

Таблиця 2. Порівняльний аналіз біологічної цінності обраної сировини, мг/100 г білка

Назва амінокислоти	Шкала АК за ФАО/ВООЗ	Рисове борошно		Мигдальне борошно		Сир кисломолочний 5%	
		Вміст	Скор, %	Вміст	Скор, %	Вміст	Скор, %
Лейцин	7000	488	7	1192	17	1116	15,9
Ізолейцин	4000	244	6,1	609	15,2	591	14,8
Метіонін+цистеїн	3500	251	7,2	327	9,3	355	10,1
Лізин	5500	207	3,8	460	8,4	934	17
Фенілаланін + тирозин	6000	631	10,5	956	15,9	1181	19,7
Треонін	4000	210	5,3	487	12,2	500	12,5
Валін	5000	348	7	693	13,9	748	15
Триптофан	1000	72	7,2	171	17,1	147	14,7
Сума:		2451		4895		5572	

Примітка: дані з відкритих джерел.

З даних, наведених у табл. 2, можемо спостерігати, що білок нової сировини містить усі незамінні амінокислоти, зокрема найбільша частка припадає на фенілаланін, лейцин і триптофан. Амінокислоти позитивно впливають на розумові здібності та пам'ять, беруть участь у продукуванні колагену, синтезі ряду біологічних активних речовин, поліпшують стан шкіри, відповідають за швидке відновлювання після фізичних навантажень і контроль рівня цукру в крові (Kubala, 2022; Olsen, 2019).

Відповідно до даних табл. 2 найбільш концентрованим джерелом амінокислот за їх сумою є сир кисломолочний, завдяки чому ця сировина і була обрана для збагачення за вмістом білків.

Визначено, що для рисового та мигдального борошна лімітуючою амінокислотою є лізин з показником 3,8% та 8,4% відповідно, для сиру кисломолочного з часткою жиру 5% лімітуючою амінокислотою є метіонін і цистеїн з показником в 10,1%. Частка цих амінокислот на 100 грамів сировини є найменшою.

Для удосконалення рецептурного складу й технології кексів було використано традиційну рецептуру кексів, які виготовляються із застосуванням хімічних розпушувачів (табл. 3).

Таблиця 3. Традиційна рецептура кексу «Столичний» у відсотковому співвідношенні

Сировина	Вміст у виробі у відсотковому співвідношенні, %	Нормативна документація, яка регламентує якість сировини
Борошно пшеничне, вищий сорт	26	ГСТУ 46.004-99 Борошно пшеничне. Технічні умови
Цукор білий	19	ДСТУ 4623—2006. Цукор білий. Технічні умови
Масло вершкове	19	ДСТУ 4399:2005. Масло вершкове. Технічні умови. Зі змінами та поправками
Яйця курячі	16	ДСТУ 5028: 2008. Яйця курячі харчові. Технічні умови
Родзинки	19	ДСТУ 8661:2016. Фрукти сушені. Правила приймання та методи випробувань
Розпушувач	0,5	ГОСТ 2156—76. Натрій двовуглекислий. Технічні умови. Зі змінами №1—4
Сіль	0,5	ДСТУ 4399:2005. Масло вершкове. Технічні умови. Зі змінами та поправками
Вихід:	100	

Примітка: дані з відкритих джерел.

З даних табл. 3 видно, що найбільшу частку у рецептурі становлять борошно пшеничне вищого сорту та здобна частина: цукор білий, масло вершкове. У результаті пробних лабораторних випікань встановлено оптимальне співвідношення інгредієнтів удосконалених кексів, збагачених сиром кисломолочним. На заміну борошна пшеничного використовували мікс рисового та мигдалевого у співвідношенні 2,2:1 відповідно та часткову заміну масла вершкового з масовою часткою жиру 82,5 % на сир кисломолочний з масовою часткою жиру 5% у співвідношенні компонентів 1:2,3.

Технологія приготування дослідних зразків кексів складалася з таких стадій: підготовка сировини, приготування тіста, випікання. При приготуванні тіста до розігрітого до температури 18—20 °С масла вершкового додавали протертий через сито сир кисломолочний жирністю 5%, меланж. Далі поступово вносили суміш сипких компонентів і ретельно перемішували до однорідності. Після цього додавали підготовлені родзинки, ще раз перемішували та заповнювали підготовлені форми готовим тістом на $\frac{3}{4}$ об'єму. Випікання виробів здійснювали в електричній духовій шафі «Electrolux» при температурі 175 °С протягом 25—30 хвилин. Готові кекси перед реалізацією слід охолодити до кімнатної температури. Зовнішній вигляд дослідних зразків кексів наведено на рис. 1.

Такі органолептичні показники, як форма, стан поверхні, колір, смак, запах і вид у зламі (характеризує пористість виробу), визначали згідно з вимогами нормативної документації.

Для кількісного визначення зміни показників якості дослідних зразків кексів розробили 10-бальну шкалу та використовували коефіцієнти вагомості для кожного показника. Відповідні профілограми наведено на рис. 2.



а

б

Рис. 1. Зовнішній вигляд дослідних зразків кексів: фото на зрізі кексів різних модельних зразків: а — контроль, б — удосконалений



а



б

Рис. 2. Профілограми якості дослідних зразків кексів: а — контроль, б — удосконалений

Для зразків розраховано комплексний показник якості (рис. 3).



Рис. 3. Комплексний показник критеріїв якості

З рис. 3 видно, що для контролю комплексний показник якості складає 800 балів, для удосконаленого зразка кексів — 612 балів, що на 24% менше.

Кекси, виготовлені за удосконаленою рецептурою, мають гарну форму, приємний, з горіховими нотками аромат, рівну поверхню та приємний, з відчутним присмаком горіхів та сиру кисломолочного, смак, дещо більш вологу та менш розвинену м'якушку порівняно з контролем.

Для таких борошняних кондитерських виробів, як кекси без начинки важливими показниками є масова частка вологи, масова частка жиру, що обумовлюється великою кількістю масла вершкового, та лужність, яка контролюється через внесення в рецептуру хімічних розпушувачів. Додатковими показниками якості може бути густина тіста, питомий об'єм виробів. Результати досліджень наведено в табл. 4.

Таблиця 4. Фізико-хімічні показники якості кексів згідно з ДСТУ 4505:2005. Кекс. Загальні технічні умови

Показник	Згідно з нормативною документацією	Результат випробувань
Масова частка вологи, %	10,0...31,0	21,0 ± 0,5
Масова частка жиру в перерахунку на сухі речовини, %	2,2...34,2	7,5 ± 0,1
Лужність, град	2,0...3,0	2,4 ± 0,1
Густина тіста, г/см ³	Не регламентується	0,95 ± 0,01
Питомий об'єм виробу, см ³ /г	Не регламентується	1,4 ± 0,1

Аналіз табл. 4 вказує на те, що в удосконалених кексах на 5% збільшується вміст вологи порівняно з контрольним зразком. Це пояснюється внесенням до рецептури сиру кисломолочного жирністю 5%, який має високу вологість (до 55%), та мигдального борошна, якому характерна більша вологопоглинальна та вологоутримувальна здатність порівняно з пшеничним борошном. Заміна в рецептурі кексу «Столичний» масла вершкового на сир кисломолочний жирністю 5% знижує вміст жирів на 43% (згідно з аналітичними розрахунками), що може впливати на термін придатності, зокрема на подовження цього періоду часу. Показник лужності не перевищує нормативне значення.

Корисні властивості харчового продукту характеризуються насамперед ступенем забезпечення фізіологічних потреб людини в основних харчових речовинах та енергії. Харчова й енергетична цінність дослідних зразків кексів наведена в табл. 5.

Таблиця 5. Харчова та енергетична цінність дослідних зразків, на 100 г продукту

Показник	Вміст у 100 г в контрольному зразку	Вміст у 100 г в удосконаленому зразку	Вміст на порцію (10% денної норми)
Білки, г	5,2	8,9	7,2
Жири, г	16,9	7,3	5,9
Вуглеводи, г	52	52	40,2
Енергетична цінність, ккал	381	301	201

Аналіз даних табл. 5 вказує на те, що удосконалені кекси містять більше на 70% білків за рахунок повної заміни пшеничного борошна на мікс рисового та мигдального, з більшим вмістом білка та внесення до рецептури сиру кисломолочного жирністю 5%. За рахунок удосконалення рецептури вдалося знизити вміст жирів і калорійності кексів на 43 та 20% відповідно. Вміст білків в удосконалених кексах досягає 8,9 г на 100 грамів виробу, що перевищує контрольний зразок в 1,7 раза, знижений вміст жирів у 2,3 раза впливає на зменшення загальної калорійності та більш насичену пухирцями повітря структуру м'якуша.

Співвідношення Б:Ж:В контрольного та удосконаленого зразків становить 1:3,25:10 та 1:0,8:5,8 відповідно. Це свідчить про наближення відповідності удосконалених кексів вимогам збалансованого харчування, з оптимальним співвідношенням білків, жирів і вуглеводів 1:1:3,5 відповідно (Кручаниця, Миронюк, & Кіш, 2019).

Фізіологічну цінність білка визначає не лише сумарний вміст незамінних амінокислот, а й біологічна його цінність, яка визначається за величиною амінокислотного скору. Амінокислота, скор якої має найменше значення, називається першою лімітуючою амінокислотою. Значення скору цієї амінокислоти визначає біологічну цінність і ступінь засвоюваності білків (Махинько, Дробот, & Соколовська, 2017).

Для того, щоб впевнитися в доцільності удосконалення рецептури кексів з високою біологічною цінністю варто прорахувати загальний вміст амінокислот у виробі та амінокислотний скор, який підтверджує, що оновлена рецептура є придатною та доцільною для використання. Біологічну цінність безглютенових кексів, збагачених сиром кисломолочним, наведено в табл. 6.

Таблиця 6. Біологічна цінність безглютенових кексів, збагачених сиром кисломолочним, мг/г білка

Назва амінокислоти	Шкала АК за ФАО/ВООЗ	Добова потреба	РБ	МБ	СК	ЯК	МВ	Р	Сума
Лейцин	70,00	14,00	12,00	53,00	28,40	39,60	0,06	0,30	133,30
Ізолейцин	40,00	10,00	6,00	27,10	15,00	24,40	0,04	0,30	72,80
Метіонін+цистин	35,00	13,00	6,10	5,60	8,50	23,70	0,02	0,40	44,50
Лізин	55,00	12,00	5,10	20,50	23,70	33,20	0,05	0,30	82,90
Фенілаланін + тирозин	60,00	14,00	15,50	40,70	30,00	42,90	0,06	0,10	129,30
Треонін	40,00	7,00	5,10	20,30	12,70	20,30	0,06	0,4	58,8
Валін	50,00	10,00	8,50	30,80	19,00	31,30	0,04	0,3	90,0
Триптофан	10,00	3,50	1,80	7,6	3,7	6,1	0,01	0,4	19,6

Примітка: РБ — рисове борошно, МБ — мигдальне борошно, СК — сир кисломолочний, ЯК — яйця курячі, МВ — масло вершкове, Р — родзинки.

Враховуючи принцип Мітчела-Блока про домінуючий вплив першої лімітуючої незамінної амінокислоти на ступінь утилізації решти незамінних амінокислот, чисельну характеристику засвоюваності незамінних амінокислот білка було

розраховано шляхом визначення коефіцієнта їхньої утилітарності (Shevchenko, & Litvynchuk, 2022).

Відповідно до проведених розрахунків (табл. 6) коефіцієнт утилітарності становить 1. Це доводить збалансованість безглютенових кексів, збагачених сиром кисломолочним, за співвідношенням незамінних амінокислот відповідно до фізіологічно необхідної норми.

Висновок

Важливість створення безглютенових виробів обумовлюється низкою факторів, серед яких поширення целиакиї, чутливість до глютену та популярність здорового способу харчування з частковими обмеженнями. Розроблення борошняних кондитерських виробів, які збагачені білком за рахунок внесення сиру кисломолочного, залишається актуальним через доступність сировини, високого вмісту незамінних амінокислот до 5572 мг/100г білка та легкої засвоюваності порівняно з іншими видами альтернативної сировини.

У результаті проведених досліджень було отримано безглютенові кекси на основі суміші рисового та мигдального борошна у співвідношенні 2,2:1 відповідно, з частковою заміною масла вершкового на сир кисломолочний жирністю 5%, у співвідношенні компонентів 1:2,3.

Отримані кекси характеризуються високими органолептичними показниками, мають комплексний показник якості 612 балів, масову частку вологи 21%, що відповідає вимогам нормативної документації. Для них характерна висока харчова цінність, масова частка білка більша від контрольного зразка в 1,7 раза, коефіцієнт утилітарності становить 1. Тому можна стверджувати, що безглютенові кекси, збагачені сиром кисломолочним, є гарною альтернативою традиційним кексам у закладах ресторанного господарства.

Література

Басай, О., Павлюченко, О. (2017). *Кекси з гарбузом на основі безглютенового борошна*. Матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції «Інноваційні технології в готельно-ресторанному бізнесі», Київ: НУХТ.

Дорохович, В. В., Гріцевич, М., Ісакова, Н. (2015). Розроблення борошняних кондитерських виробів для хворих на целиацію в Україні та за кордоном. *Продукты & Ингридиенты*, 10(129), 20—21.

Євлаш, В., Газзаві-Рогозіна, Л., Сеногонова, Л. (2021). Обґрунтування технології печива пісочного з використанням лляного борошна. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*, 1(33), 187—198. Взято з: <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/3279>.

Кручаниця, М., МIRONЮК, І., Розумикова, Н., Кручаниця, В., Брич, В., Кіш, В. (2019). *Основи харчування: підручник*. Ужгород: Говерла.

Махинько, В., Дробот, В., Соколовська, І. (2017). Формула еталонного білка: етапи розроблення і сучасні норми. *Наукові праці НУХТ*, 23(2), 208—216.

Медвідь, І., Шидловська, О., Доценко, В. (2020). *Безглютенова продукція в індустрії гостинності: актуальні питання, проблеми та перспективи їх вирішення*. IX Всеукраїнська науково-практична конференція «Інноваційні технології в готельно-ресторанному бізнесі». Київ: НУХТ.

Павлюченко О., Погорельська А. (2021). *Горіхове борошно як сировина для борошняних кондитерських виробів*. X всеукраїнська науково-практична конференція «Інноваційні технології в готельно-ресторанному бізнесі». Київ: НУХТ.

Павлюченко, О., Погорельська, А. (2022). *Доцільність створення композиційної суміші на основі рисового та мигдалевого знежиреного борошна*. Тези Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді — вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті». Київ: НУХТ.

Чумак, І. (2022). Основні тренди розвитку харчових інновацій у контексті українського та світового державотворення. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: Публічне управління та адміністрування*, 33(72), 11—18. doi <https://doi.org/10.32838/TNU-2663-6468/2022.1/03>.

Юдіна, Т., Безрученко, О., Павлюченко, В. (2019). Обґрунтування складу борошняної сировини у технології безглютенових кексів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного*, 19(1). Retrieved із <https://oj.tsatu.edu.ua/index.php/pratsi/article/view/103>.

Litvynchuk, S., Galenko, O., Cavicchi, A., Ceccanti, C., Mignani, C., Guidi, L., Shevchenko, A. (2022). Conformational Changes in the Structure of Dough and Bread Enriched with Pumpkin Seed Flour. *Plants*, 11, 2762. <https://doi.org/10.3390/plants11202762>.

Henderson, L. (2011). Cottage Cheese and Amino Acids. *Healthfully*. Retrieved from: <https://healthfully.com/546599-cottage-cheese-and-amino-acids.html>.

Konar, N., Gunes, R., Palabiyik, I., Toker, O. (2022). Health conscious consumers and sugar confectionery: Present aspects and projections. *Trends in Food Science & Technology*, 123, 57—68. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.02.001>.

Kubala, J. (2022). Essential Amino Acids: Definition, Benefits, and Food Sources. *Healthline*. Retrieved from <https://www.healthline.com/nutrition/essential-amino-acids>.

Makharia, G., Singh, P., Catassi, C., Sanders, D., Leffler, D., Affendi, R. & Bai, J. (2022). The global burden of coeliac disease: opportunities and challenges. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 19, 313—327. DOI: 10.1038/s41575-021-00552-z.

Mykhaylov, V., Samokhvalova, O., Kucheruk, Z., Kasabova, K., Simakova, O., Goriainova, I., Rogovaya, A., & Choni, I. (2019). STUDY OF MICROBIAL POLYSACCHARIDES' IMPACT ON ORGANOLEPTIC AND PHYSICAL-CHEMICAL PARAMETERS OF PROTEIN-FREE AND GLUTEN-FREE FLOURY PRODUCTS. *EUREKA: Life Sciences*, (6), 37—43. <https://doi.org/10.21303/2504-5695.2019.001067>.

Olsen N. (2019). What to know about essential amino acids. *Medical News Today*. Retrieved from <https://www.medicalnewstoday.com/articles/324229>.

Shapovalenko, O., Pavliuchenko, O., Furmanova, Y., Sharan, L., Kuzmin, O. (2020). Удосконалення рецептурного складу шоколадного кексу «глутен-фри» спеціального призначення. *Food Science and Technology*, 14(4). <https://doi.org/10.15673/fst.v14i4>.

Shevchenko, A., Litvynchuk, S. (2022). Influence of rice flour on conformational changes in the dough during production of wheat bread. *Ukrainian Journal of Food Science*, 10(1), 5—15. <https://doi.org/10.24263/2310-1008-2022-10-1-3>.

Yano, H., Fukui, A., Kajiwara, A., Kobayashi, I., Yoza, K., Satake, A., Villeneuve, M. (2017). Development of gluten-free rice bread: Pickering stabilization as a possible batter-swelling mechanism. *LWT — Food Science and Technology*, 79, 632—639. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.11.086>.

Yıldız, E. (2021). Use of almond flour and stevia in rice-based gluten-free cookie production. *Journal of Food Science and Technology*, 58(3), 940—951. DOI:10.1007/s13197-020-04608-x.

INFLUENCE OF IONS-SALT COMPOSITION OF WATER ON THE QUALITY OF BEER

A. Ludyn, V. Reutsky

Lviv Polytechnic National University

Key words:

Ion-salt composition
Reverse osmosis
Mash water
Ion ratio
Hop bitterness
Extract
Foam resistance
Mashing process

Article history:

Received 09.01.2023
Received in revised form
17.01.2023
Accepted 31.01.2023

Corresponding author:

A. Ludyn
E-mail:
anatolii.m.ludyn@lpnu.ua

ABSTRACT

Minerals dissolved in water have an important effect on the overall chemistry of the brewing process. Ions from these minerals affect the pH of water, its hardness, alkalinity and mineral composition. These parameters are the most important factors in determining the suitability of water for brewing, in particular for the mashing process. For that reason, it is very important to study the ion-salt composition of mash water and its influence on the quality of beer.

The method of regulating the ion-salt composition of water, which is necessary for its use in the mashing process in order to obtain high-quality beer is discussed in the article. Prepared water obtained by reverse osmosis is free from ions as much as possible, which enabled to prepare water with the necessary ion-salt composition for rubbing by adding appropriate salts. Using prepared water in the mashing process, beer samples were obtained, which were evaluated according to sensory and physicochemical indicators.

The effect of ion-salt composition of mash water on beer quality indicators was studied. It was found that calcium and sodium cation complexes, as well as a mixture of sulfates and chlorides dissolved in the water used for the mashing process, have the most significant impact on beer quality. Concentrations of individual ions in such water do not show any pronounced dependence on beer quality indicators.

It was studied that the increase in the ratio of cations $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$ and sulfates and chlorides $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^{-}$ in the mash water has a positive effect on the sensory and quality indicators of beer: the ratio of key ions affects hop bitterness to the greatest extent among the quality indicators of beer. In addition, the ratio of $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$ cations has a positive effect on the foam resistance of beer, and the ratio of sulfates and chlorides $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^{-}$ leads to an increase in the share of alcohol in the finished drink. According to the tasting evaluation of beer, samples with a higher ratio of key ions have a brighter taste and aroma.

ВПЛИВ ІОННО-СОЛЬОВОГО СКЛАДУ ВОДИ НА ЯКІСТЬ ПИВА

А. М. Лудин, В. В. Реутський

Національний університет «Львівська політехніка»

Розчинені у воді мінерали мають важливий вплив на загальну хімію процесу пивоваріння. Іони з цих мінералів впливають на рН води, її жорсткість, лужність і мінеральний склад. Ці параметри є найважливішими факторами у визначенні придатності води для пивоваріння, зокрема для процесу затирання. Зважаючи на це, важливим є питання вивчення іонно-сольового складу заторної води і її впливу на якість пива.

У статті розглянуто спосіб регулювання іонно-сольового складу води, необхідного для використання її в процесі затирання з метою одержання якісного пива. Підготовлена вода, одержана шляхом зворотного осмосу, максимально звільнена від іонів, що дає змогу шляхом додавання відповідних солей готувати воду з необхідним для затирання іонно-сольовим складом. Використовуючи підготовлену воду в процесі затирання, одержали зразки пива, які оцінювали за органолептичними та фізико-хімічними показниками.

Вивчено вплив іонно-сольового складу заторної води на показники якості пива. Виявлено, що найвідчутніший вплив на якість пива чинять комплекси катіонів кальцію і натрію, а також суміш сульфатів і хлоридів, розчинених у воді, яка використовується для процесу затирання. Концентрації індивідуальних іонів у такій воді не виявляють якоїсь вираженої залежності на показники якості пива.

Досліджено, що зростання співвідношення катіонів $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$ та сульфатів і хлоридів $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ у заторній воді позитивно впливає на органолептичні та якісні показники пива. Найбільше з якісних показників пива співвідношення ключових іонів впливає на хмелеву гіркоту. Крім цього, співвідношення катіонів $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$ позитивно впливає на піностійкість пива, а співвідношення сульфатів і хлоридів $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ призводить до збільшення частки спирту в готовому напої. За дегустаційною оцінкою пива у зразків з вищим співвідношенням ключових іонів спостерігається більш яскравий смак і аромат.

Ключові слова: іонно-сольовий склад, зворотній осмос, заторна вода, співвідношення іонів, хмелева гіркота, екстракт, піностійкість, процес затирання.

Постановка проблеми. Розчинені у воді мінерали мають важливий вплив на загальну хімію процесу пивоваріння. Іони, в основному, потрапляють у воду з ґрунту і кам'яних мінералів, з якими вона контактує, що впливає на мінералізацію підземної води. Вода, що протікає через вапняк і гіпсові утворення, зазвичай є більш жорсткою, ніж вода, що протікає через граніт або вапняк. Іони з цих мінералів впливають на рН води, її жорсткість, лужність і мінеральний склад. Ці параметри є найважливішими факторами у визначенні придатності води для пивоваріння, причому зміна одного параметра може вплинути на інші. Різні іонні складові води можуть вплинути на процес затирання і смакові відчуття в готовому пиві.

Таким чином, іонно-сольовий склад води, яка використовується для пивоваріння, зокрема для процесу затирання, має величезне значення для одержання якісної продукції. З тієї причини залишається актуальним вивчення іонно-сольового складу такої води і її впливу на якість пива.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Якщо вода, яка буде використовуватись у виробництві пива, має недостатню якість, тоді здійснюється її додаткова підготовка. Такі способи, як дистиляція, зворотний осмос, вугільна фільтрація, пом'якшення води гашеним вапном (реакція Кларка), кип'ятіння, додавання мінералів можуть поліпшити якість води для пивоваріння (Briggs et al., 2004). Солі кальцію та магнію — це елементи, що переважають у воді (Kadlec, 2002).

Важливим показником, що впливає на процес затирання, є рН затору, від якого залежать колір, прозорість, смак сусла, а потім і пива. Ледь кислий затор з рН від 5,2 до 5,8 (при кімнатній температурі) покращує ензимні процеси під час затирання. При затиранні рН знижується за рахунок активності ферментів солоду, які вивільняють фосфати з нуклеїнових кислот. У процесі варіння сусла кислотність сусла підвищується шляхом осадження фосфатів у присутності іонів кальцію і магнію. Гіркі кислоти хмелю та продукти реакції Маяра додатково сприяють зниженню рН. Під час бродіння рН знижується через діяльність дріжджів, які споживають амінокислоти та виробляють органічні кислоти. Рівень рН також змінюється через присутність вуглекислого газу, який розчиняється в розчині (Basařová et al., 2010; Punčochářová, 2019). Регулювання рН затору дає змогу пивоварові отримувати сусло з потрібним характером, необхідним для готового пива. У більшості випадків рекомендується утримання рН затору в значеннях між 5,3 і 5,5 (Eßlinger, 2009).

Кальцій благотворно впливає на ферментативні процеси при затиранні і є важливим для клітинних стінок дріжджів. Кальцій покращує осадження дріжджів, зменшує помутніння пива, прискорює процес фільтрації і промивки затору, а також позитивно впливає на смак хмелю. У заторі кальцій реагує з фосфатами солоду (фітини), знижує рН затору і випадає в розчин у вигляді фосфату кальцію, вивільняючи при цьому протони. Якщо вода має низький вміст кальцію, то достатня кількість його для роботи дріжджів міститься в ячмені і пшениці. Але використання такої води може викликати погіршення осадження дріжджів і утворення пивного каменю. Кальцій має слабкий вплив на смак пива, але при високих концентраціях утворює сполуки з аніонами, які можуть надати йому мінерального присмаку. Інша проблема, з якою можна зіткнутися при високій концентрації кальцію, полягає в тому, що кальцій замінює магній у метаболізмі дріжджів, що негативно впливає на їх стан і продуктивність. Рекомендований діапазон кальцію становить від 50 мг/л до 150 мг/л (Karbassi, 2000; Ganbaatar et al., 2015).

Магній — поживна речовина для дріжджів і важливий супутній фактор для деяких ферментів. Як і кальцій, магній реагує з солодом, але має слабший ефект при порівнянні з першим. Мінімальне значення магнію (5 мг/л) позитивно впливає на осадження дріжджів — ячмінь або пшениця в заторі легко забезпечать таку концентрацію. У помірних кількостях магній підкреслює смак пива, але якщо рівень пивоварної води перевищує 30 мг/л, смак пива буде кислим і терпким (Briggs et al., 2004; Karbassi, 2000).

Натрій надає пиву кислий і солоний смак, але він отруйний для дріжджів і в надлишку робить смак пива металевим і різким. Зазвичай, рекомендований діапазон натрію становить 10...70 мг/л, хоча для досягнення навмисного солоного або кислого ефекту можна використовувати навіть 150 мг/л. У присутності хлору натрій надає напою «округлість». (Kadlec, 2002; Eßlinger, 2009).

Хлориди використовуються для надання напою насиченого солодкого смаку та насиченого солодового відтінку. Хлориди, зазвичай, додають у формі хлориду кальцію або хлориду натрію. Вони також сприяють стабільності під час процесу затирання. Регульоване співвідношення хлоридів і сульфатів може врівноважити солодкість і хмелеву гіркоту у напої (Briggs et al., 2004; Karbassi, 2000).

Сульфати використовуються, щоб надати пиву бажаного хмільного смаку. Концентрації цих солей, які перевищують необхідний рівень, привносять у пиво сірчисті аромати. У воді з високою концентрацією сульфатів натрій повинен бути зменшеним до мінімального для того, щоб уникнути різкості або мінерального присмаку. Кількість доданих сульфатів різко змінюється залежно від бажаного рівня хмелю. Там, де потрібна гіркота, можна використовувати сульфати, щоб посилити цей смаковий профіль. Через високі концентрації сульфатів приглушується відчуття солодового смаку, яке є характерним для багатьох сортів пива. Якщо концентрація сульфату є надто високою, він може вступити в реакцію з дріжджами та утворити сірководень з його неприємним запахом (Briggs et al., 2004).

Карбонати та бікарбонати є важливими для одержання якісного пива, оскільки вони визначають рН затору. Їх сильна лужність запобігає підвищенню кислотності рН, що призводить до терпких смаків і насиченого танінами пива. Вони також сприяють круглому, солодовому смаку в пиві, а при високих рівнях можуть надати гіркоти, бажаної для темних сортів. Однак, якщо рівень карбонатів не регулювати під час бродіння, існує ризик підвищення рН пива вищого за норми, що призведе до ослаблення ферментативних процесів і зробить смак хмелю більш грубим. Контроль і регулювання вмісту бікарбонатів у воді є дуже важливим для досягнення бажаного рН при затиранні (Briggs et al., 2004; Basařová et al., 2010).

У пивоварінні існують іони, які можуть зіпсувати пивоварну воду. Так, хлор, який використовується як дезінфікуючий засіб, може реагувати з аміаком з утворенням хлораміну. І хлор, і хлорамін псують смак пива, а також заважають бродінню. Залізо (Fe^{+2} і Fe^{+3}) ніколи не є бажаним іоном у пиві: воно надає пиву чорнильний присмак і перешкоджає правильному бродінню. Всього 0,05 мг/л заліза у воді може зіпсувати готовий напій. Марганець, якщо концентрація його перевищує 0,01 мг/л, вносить у пиво металевий і неприємний присмак. Іони марганцю, які часто зустрічаються в поєднанні із залізом, впливають не тільки на смак, але й на прозорість пива та життєдіяльність дріжджів. Недопустимими у воді для приготування доброго пива є нітрати та нітрити (Briggs et al., 2004; Basařová et al., 2010).

Мета статті: дослідження впливу іонно-сольового складу води, яка використовується для процесу затирання у виробництві пива, на показники якості пивної продукції.

Матеріали і методи. Основою дослідження є вода, що використовується для затирання. Водопровідна вода, іонно-сольовий склад якої представлено в табл. 1,

виявилась непридатною для процесу пивоваріння: присутність у ній солей заліза, нітратів і надмірна кількість гідрокарбонатів негативно впливає на якість готового продукту.

Таблиця 1. Іонно-сольовий склад водопровідної води

Катіони	Вміст		Аніони	Вміст	
	мг/л	мг-екв		мг/л	мг-екв
Натрій	23,99	1,04	Хлориди	17,75	0,50
Кальцій	70,14	3,50	Сульфати	46,51	0,97
Залізо	0,28	0,01	Нітрати	5,50	0,09
Магній	12,16	1,00	Нітрити	—	—
Марганець	—	—	Карбонати	—	—
Мідь	—	—	Гідрокарбонати	244,00	4,00
Разом	106,57	5,56	Разом	313,76	5,56

Для подальшого дослідження брали підготовлену воду, одержану шляхом зворотного осмосу. Така вода максимально звільнена від іонів, що дало змогу шляхом додавання відповідних солей готувати воду з необхідним для затирання іонно-сольовим складом. З цією метою водопровідну воду готували на установці зворотного осмосу ECOSOFT MO36000 з мембранним елементом типу Ecosoft 4" ELP-4040. Підготовка води на вказаному обладнанні здійснювалась згідно з ТУ У 29.2-31582737-001-2003. Через вміст іонів заліза і нітратів у водопровідній воді перед мембраною її піддавали обробці іонообмінним фільтром, у результаті чого у воді спостерігався підвищений вміст натрію. Іонно-сольовий склад води, одержаної шляхом зворотного осмосу, наведено у табл. 2.

Таблиця 2. Іонно-сольовий склад води, одержаної шляхом зворотного осмосу

Катіони	Вміст		Аніони	Вміст	
	мг/л	мг-екв		мг/л	мг-екв
Натрій	10,39	0,45	Хлориди	3,55	0,10
Кальцій	6,01	0,30	Сульфати	16,88	0,35
Залізо	—	—	Нітрати	—	—
Магній	2,43	0,20	Нітрити	—	—
Марганець	—	—	Карбонати	—	—
Мідь	—	—	Гідрокарбонати	30,50	0,50
Разом	18,83	0,95	Разом	50,93	0,95

На основі підготовленої води готувались п'ять зразків води, яка використовується у процесі затирання з метою одержання різних типів пива. Зразок 1 — для одержання легкого світлого пива; зразок 2 — для одержання світлого пива верхового бродіння та середньої охмеленості; зразок 3 — для одержання бурштинового пива верхового бродіння та високої охмеленості; зразок 4 — для одержання темного пива верхового бродіння та невисокої охмеленості; зразок 5 — для одержання темного пива верхового бродіння та середньої охмеленості.

Для одержання вказаних зразків використовувались відповідні солі. Для підвищення концентрації іонів магнію та сульфатів додавався сульфат магнію, іонів кальцію та хлоридів — хлорид кальцію, іонів натрію — хлорид натрію (харчова

сіль), бікарбонатів та іонів натрію — бікарбонат натрію (харчова сода). Крім вказаних солей, для збільшення концентрації іонів кальцію використовувався гіпс. Концентрації солей визначали за (Накорчевська, Аргатенко, 2000). Іонно-сольовий склад одержаних зразків заторної води наведений у табл. 3.

Таблиця 3. Іонно-сольовий склад води для процесу затирання з метою одержання різних типів пива

Зразок заторної води	Вміст іонів у воді для затирання, мг/л						$\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$	$\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^{-}$
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	SO_4^{2-}	Cl^{-}	HCO_3^{-}		
1	19,0	2,5	10,4	17,0	27,0	109	1,83	0,63
2	76,0	7,0	35,0	77,0	63,0	44	2,17	1,22
3	55,0	7,0	16,0	83,0	46,0	31	3,43	1,80
4	56,0	5,0	21,0	50,0	46,0	108	2,67	1,09
5	57,0	5,0	16,0	62,0	46,0	82	3,56	1,35

Для одержаних проб готового пива проводили органолептичний аналіз, де оцінювали смак, аромат, прозорість, піноутворення, хмелеву гіркоту, а також фізико-хімічний аналіз, де визначали титровану кислотність, видимий екстракт, вміст спирту, піностійкість.

Органолептичні показники зразків пива визначали згідно з ДСТУ 7103:2020. Хмелеву гіркоту аналізували за 10-бальною системою. Тривалість існування піни, тобто піностійкість (час, який минув з моменту виникнення піни до її руйнування), визначали у хвилинах. Дегустацію проводили у добре провітрованому приміщенні з температурою 22 °С, температура пива при цьому становила 12 ± 2 °С. Передусім дегустували світлі сорти пива в порядку зростання концентрації початкового сусла, а потім у тому ж порядку — темні.

Визначення титрованої кислотності проводили згідно з ДСТУ 4852:2007. Вміст спирту та екстракт у пиві визначали згідно з ДСТУ 7104:2009.

Викладення основних результатів дослідження. Як показали дослідження, концентрації індивідуальних іонів у воді не проявляють якоїсь вираженої залежності на показники якості пива. Виявлено, що найвідчутніший вплив на якість готового напою чинять комплекси катіонів кальцію та натрію, а також суміш сульфатів і хлоридів, розчинених у воді, яка використовується у процесі затирання. Тому проводився аналіз впливу співвідношення катіонів $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$ та сульфатів і хлоридів $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^{-}$ у заторній воді на різні показники якості пива, одержаного на основі відповідного зразка води. Результати аналізу якості зразків пива представлені в табл. 4.

Згідно з даними, наведеними в табл. 1, будуємо графіки залежності показників якості пива від співвідношення іонів $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$ та $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^{-}$ у заторній воді.

З рис. 1 видно, що титрована кислотність пива зростає зі збільшенням співвідношення іонів у заторній воді до якогось максимуму (при співвідношенні $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^{-}$ цей максимум складає 1,22, при співвідношенні $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$ — 2,17), після якого починає зменшуватись.

Таблиця 4. Показники якості пива, одержаного із зразків досліджуваної заторної води з різним іонно-сольовим складом

Зразок пива	Співвідношення іонів у заторній воді		Показники якості пива з досліджуваної води				
	$\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$	$\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^{-}$	Видимий екстракт, % мас.	Кислотність, мг 0,1 н NaOH в 100 мл пива	Хмелева гіркота, бали	Піно-стійкість, хв	Вміст спирту, % мас.
1	1,90	0,63	13	1,85	1,5	2,03	4,8
2	2,17	1,22	12,5	3,40	2,3	2,25	5,0
3	3,43	1,80	16,5	2,40	7,2	2,66	7,1
4	2,67	1,09	12,5	2,60	3,0	2,40	5,2
5	3,56	1,35	16,0	2,80	4,6	3,08	6,2

00

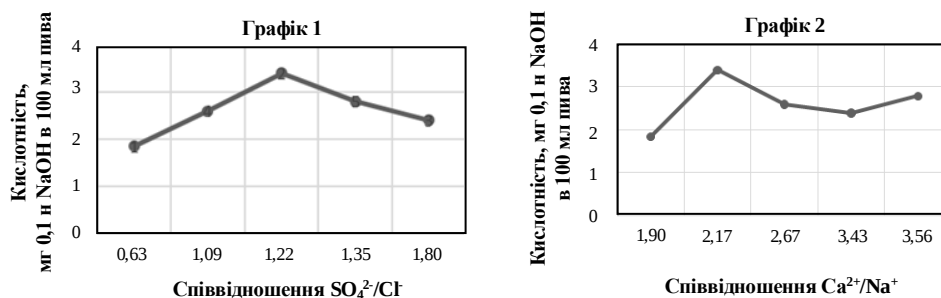


Рис. 1. Залежність титрованої кислотності пива від співвідношення іонів $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^{-}$ (графік 1) та $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$ (графік 2) у заторній воді

Співвідношення катіонів $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$ та співвідношення сульфатів і хлоридів $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^{-}$ однаково незначно впливає на видимий екстракт пивних зразків: підтримується на рівні 12,5...13,0% мас., після досягнення значення $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^{-}$ 1,22 (для $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$ — 2,67) екстракт трохи зростає (рис. 2).

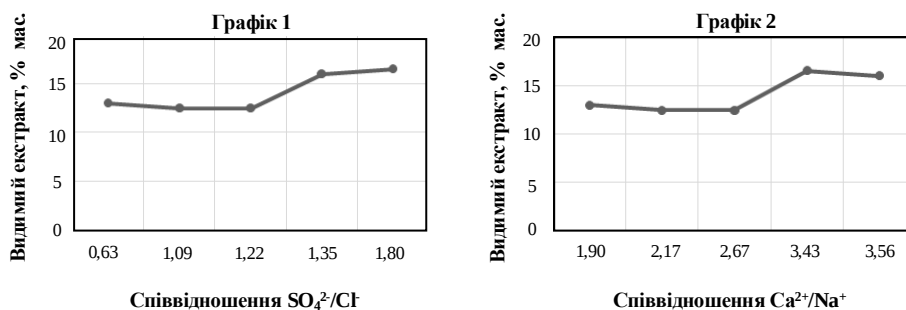


Рис. 2. Залежність видимого екстракту пива від співвідношення іонів $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^{-}$ (графік 1) та $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$ (графік 2) у заторній воді

З рис. 3 видно, що на піностійкість пива впливає збільшення співвідношення катіонів $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$ у заторній воді. Збільшення співвідношення солей $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^{-}$

спричиняє зростання піностійкості, але тільки до значення 1,35, після якого вона незначно знижується.

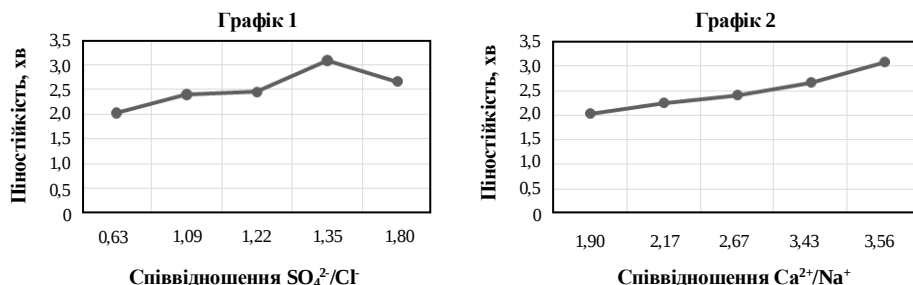


Рис. 3. Залежність піностійкості пива від співвідношення іонів $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ (графік 1) та $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ (графік 2) у затірній воді

Співвідношення $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ та $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ неоднаково впливають і на вміст спирту у пивних зразках: зростання співвідношення $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ веде до збільшення масової частки спирту в пиві, тоді як збільшення співвідношення $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ спричиняє зростання частки спирту тільки до значення 3,43, після чого починається зниження (рис. 4).

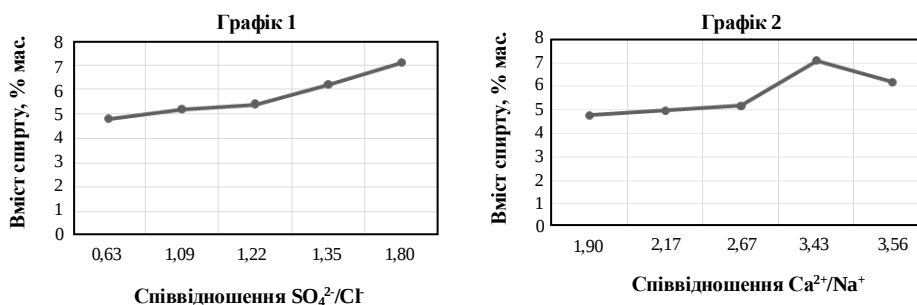


Рис. 4. Залежність вмісту спирту у пиві від співвідношення іонів $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ (графік 1) та $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ (графік 2) у затірній воді

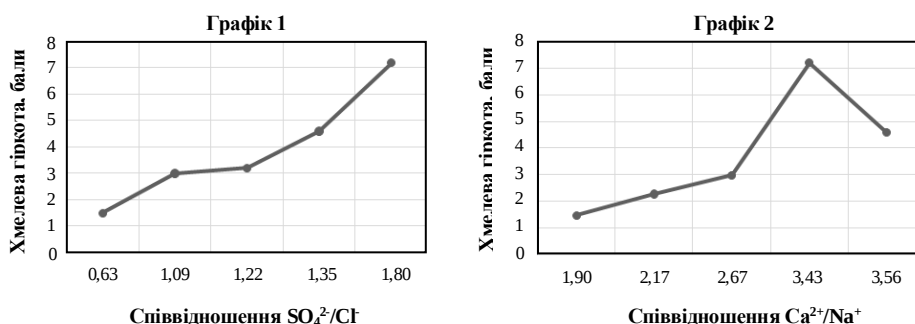


Рис. 5. Залежність хмелевої гіркоти пива від співвідношення іонів $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ (графік 1) та $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ (графік 2) у затірній воді

Як показали результати досліджень, найбільше з якісних показників пива співвідношення ключових іонів впливає на хмелеву гіркоту та на інші органолептичні показники. Якщо співвідношення $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ знаходиться в діапазоні $[0-1]$, то гіркота пива буде низькою; якщо $[1-1,25]$ — гіркота пива є середньою і слабо вираженою; діапазон $[1,25-2,0]$ і вище відповідає за сильно охмелене та гірке пиво. Для співвідношення іонів $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ відповідні діапазони є інакшими: $[0-2,7]$ — гіркота є слабкою, $[2,7-3,4]$ — гіркота різко зростає, $[3,4]$ і вище — хмелева гіркота слабшає.

Збільшення співвідношення $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ веде до зростання частки спирту в пиві (на 25%) і видимого екстракту (на 15%). Такі показники, як титрована кислотність і піностійкість також зростають зі збільшенням $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$, але до певного значення (1,22 — для екстракту і 1,35 — для піностійкості), після якого зменшуються. Особливо чітко проглядається точка максимуму на графіку залежності кислотності від співвідношення $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$.

Збільшення співвідношення $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ позитивно впливає на піностійкість пива (збільшує на 25%) і приблизно однаково впливає на видимий екстракт та вміст спирту в пиві: при досягненні значення 3,43 ці показники зростають на 20%, після цього показники зменшуються. Вплив співвідношення цих катіонів на титровану кислотність є несуттєвим.

Висновки

Досліджено воду, одержану шляхом зворотного осмосу, та розглянуто спосіб регулювання її іонно-сольового складу, необхідного для використання цієї води у процесі затирання з метою одержання якісного пива. Виявлено, що найвідчутливіший вплив на якість пива чинять комплекси катіонів кальцію та натрію, а також суміш сульфатів і хлоридів, розчинених у воді, яка використовується для процесу затирання. Концентрації індивідуальних іонів у воді не проявляють якоїсь вираженої залежності на показники якості пива.

Досліджено, що більше співвідношення катіонів $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ та сульфатів і хлоридів $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ у затирній воді позитивно впливає на органолептичні та деякі якісні показники пива: найбільше з якісних показників пива співвідношення ключових іонів впливає на хмелеву гіркоту. Крім цього, збільшення співвідношення катіонів $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ позитивно впливає на піностійкість пива, а збільшення співвідношення сульфатів і хлоридів $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ веде до зростання частки спирту в готовому напої. За дегустаційною оцінкою пива у зразків з вищим співвідношенням ключових іонів спостерігається більш яскравий смак і аромат.

У перспективі плануються дослідження з вивчення впливу всіх індивідуальних іонів пивоварної води, а також співвідношення іонів кальцію та магнію на якість пива з використанням при цьому різноманітних способів підготовки води.

Література

- Домарецький, В. А. (1999). *Технологія солоду та пива*. К.: Урожай.
- Мелетьєв, А. Є., Тодосійчук, С. Р., Кошова, В. М. (2007). *Технохімічний контроль солоду, пива та безалкогольних напоїв*. Вінниця: Нова книга.
- Накорчевська, В. Ф., Аргатенко, Т. В. (2000). *Хімія води і мікробіологія. Вправи і методичні вказівки до їх виконання*. К.: КНУБА.

Никилишин, І. Є., Дзіняк, Б. О., Піх, З. Г., Оробчук, О. М., Кінчур, Д. Б. (2019). *Біохімія бродильних виробництв*. Львів: видавництво Т. Сороки.

Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды. В. 2 ч. (1980). К.: Наукова думка.

ТУ У 29.2-31582737-001-2003. «Установки зворотньоосмотичної фільтрації».

Briggs, D. E., Boulton, P. A. Brookes, R. Stevens. (2004). *Brewing: Science and practice*. England: Woodhead Publishing, 900 p. DOI: <http://dx.doi.org/10.1533/9781855739062>.

Basařová, G., Šavel, J., Basař, P., Lejsek, T. (2010). *Pivovarství: teorie a praxe výroby piva (Brewing: theory and practice of beer production)*. 1st ed. Prague, Czech Republic: Publisher VŠCHT. 904 p.

Eßlinger, H. M. (2009). *Handbook of Brewing: Processes, Technology, Markets*. 2nd ed. Weinheim, Germany: Wiley. P. 674.

Edberg, S. C., Rise, E. W., Karlin, R. J., Alen, M. J. (2000). *Escherichia coli*: the best biological drinking water indicator for public health protection. *Journal of Applied Microbiology*. 88. P. 106—116.

Ganbaatar, C., Kubáň, V., Kráčmar, S., Valášek, P., Fišera, M., Hoza, I. (2015). Liquid chromatographic determination of polyphenols in Czech beers during brewing process. *Potravinářstvo Slovak Journal of Food Sciences*. Vol. 9, №1. P 24—30. DOI: <http://dx.doi.org/10.5219/421>.

Hucker, B., Wakeling, L., Vrieskoop, F. (2011). The Quantitative Analysis of Thiamin and Riboflavin and Their Respective Vitamers in Fermented Alcoholic Beverages. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 59, no. 23. P. 12278—12285. <https://doi.org/10.1021/jf202647x>.

Karbassi, F., Saboury, A. (2000). Thermodynamic studies on the interaction of calcium ions with alpha-amylase. *Thermochim. Acta*. № 362. P. 121—129. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0040-6031\(00\)00579-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0040-6031(00)00579-7).

Kadlec, P. (2002). *Technologie potravin II (Food Technology II)*, Praha: Vydavatelství VŠCHT. 236 p. ISBN: 80-7080-510-2.

Kirkmeyer, G., Martel, K., Thompson, G., Radder, L. (2004). *Optimizing Chloramine Treatment*. American Water Works Association. 2nd Ed. AWWA.

Nutrients in Drinking Water. Protection of the Human Environment. (2005). Water, Sanitation and Health. WHO. Geneva.

Punčochářová, L., Pořízka, J., Diviš, P., Štursa, V. (2019). Study of the influence of brewing water on selected analytes in beer. *Potravinářstvo Slovak Journal of Food Sciences*. Vol. 13, № 1. P 24—30. DOI: <https://doi.org/10.5219/1046>.

Smith, E. J., Davison, W., Hamilton-Taylor, J. (2002). Methods for preparing synthetic freshwaters. *Water Research*, vol. 36, no. 5, P. 1286—1296. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(01\)00341-4](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00341-4).

Saboury, A. A., Ghasemi, S., Umar Dahot, M. (2005). Thermodynamic study of magnesium ion binding to alpha amylase. *Indian Journal of Biochemistry & Biophysics*, vol. 42, no. 5. P. 326—329. [http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/3533/1/IJBB%2042\(5\)%20326-329.pdf](http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/3533/1/IJBB%2042(5)%20326-329.pdf).

INFLUENCE OF VEGETABLE PUREES PROCESSED BY DIFFERENT METHODS ON THE SENSORY AND PHYSICOCHEMICAL INDICATORS OF MILK ICE CREAM

V. Sapiga, G. Polischuk

National University of Food Technologies

Key words:

Ice cream with vegetables
Pectin
Sensory indicators
Overrun
Resistance to melting
Basic recipes

Article history:

Received 11.01.2023
Received in revised form
26.01.2023
Accepted 09.02.2023

Corresponding author:

V. Sapiga
E-mail:
vika.sapiga1904@ukr.net

ABSTRACT

The purpose of the research is the scientific substantiation of the effect of vegetables with an increased content of soluble pectin on the quality indicators of low-calorie milk ice cream-technology. The object of the research is low-calorie milk ice cream technology.

The technological and functional properties of pectin-containing purées from vegetables (carrots, beets, tomatoes, zucchini and broccoli) as part of ice cream with their varied content in the range from 10 to 35% were studied. Sensory indicators, mass fraction of soluble pectin, water activity, active acidity, overrun and resistance to melting were chosen as the quality criteria of the obtained ice cream samples with vegetables. A higher yield of soluble pectin was found in fermented vegetable purées compared to purées subjected to thermal-acid treatment. It was found that fermentation and thermal-acid treatment of purée reduce the water activity in vegetables due to the increased content of soluble pectin. It was proved that the solids of vegetables increase the resistance to melting of ice cream. Based on the set of quality indicators of ice cream samples with vegetables, it was determined that vegetable purées from carrots, beets and zucchini have the highest technological activity, broccoli purée is a bit lower, and tomato purée is the lowest.

Based on the comparative analysis of the research results, recommendations were developed for the preparation of basic recipes of ice cream with vegetables in the ranges of their content for the enzymatic processing method: carrots — 20—25%, beets — 15—20%, zucchini — 20—30%, broccoli — 15—20% and tomatoes — 25—30%; for thermo-acid processing: carrots — 15—20%, beets — 10—15%, zucchini — 15—20%, broccoli — 10—15% and tomatoes — 20—25%. The introduction of vegetable purees in a lower amount than the recommended values gives the ice cream samples unexpressed sensory indicators, while exceeding the norms leads to uncharacteristic taste, aroma and consistency of ice cream. Carrot, beetroot and zucchini purée of various pretreatment methods can be used as separate vegetable multifunctional fillers, and broccoli and tomato purée is recommended to be used in combination with other vegetables.

DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-1-16

ВПЛИВ ОВОЧЕВИХ ПЮРЕ РІЗНИХ СПОСОБІВ ОБРОБЛЕННЯ НА ОРГАНОЛЕПТИЧНІ ТА ФІЗИКО- ХІМІЧНІ ПОКАЗНИКИ МОРОЗИВА МОЛОЧНОГО

В. Я. Сапіга, Г. Є. Поліщук

Національний університет харчових технологій

У статті науково обґрунтовано вплив овочів з підвищеним вмістом розчинного пектину на показники якості морозива молочного низькокалорійного.

Досліджено функціонально-технологічні властивості пектиновмісних пюре з овочів (моркви, буряка, томатів, кабачків і броколі) у складі морозива за їх варіюваного вмісту в діапазоні від 10 до 35%. За критерії якості отриманих зразків морозива з овочами обрано органолептичні показники, масову частку розчинного пектину, активність води, активну кислотність, збитість та опір таненню. Встановлено більший вихід розчинного пектину у ферментованих овочевих пюре, порівняно з пюре, що піддавали термокислотному обробленню. Виявлено, що ферментування і термокислотне оброблення пюре знижують активність води в овочах за рахунок підвищеного вмісту розчинного пектину. Доведено, що сухі речовини овочів підвищують стійкість морозива до танення. За комплексом показників якості зразків морозива з овочами визначено, що найбільшою технологічною активністю володіють овочеві пюре з моркви, буряку та кабачків, а децю нижчою — пюре з броколі і найнижчою пюре з томатів.

На основі порівняльного аналізу результатів дослідження розроблено рекомендації щодо складання базових рецептур морозива з овочами в діапазонах їх вмісту для ферментативного способу оброблення: морква — 20—25%, буряк — 15—20%, кабачки — 20—30%, броколі — 15—20%, томати — 25—30%; для термокислотного способу оброблення: морква — 15—20%, буряк — 10—15%, кабачки — 15—20%, броколі — 10—15%, томати — 20—25%. Внесення овочевих пюре у нижчій кількості за рекомендовані значення надає зразкам морозива невиражені органолептичні показники, в той час як перевищення норм приводить до нехарактерних смаку, аромату та консистенції морозива. Пюре моркви, буряку і кабачків різних способів попереднього оброблення можна застосовувати як окремі овочеві поліфункціональні наповнювачі, а пюре з броколі і томатами рекомендовано застосовувати у сполученні з іншими овочами.

Ключові слова: морозиво з овочами, пектин, органолептичні показники, збитість, опір таненню, базові рецептури.

Постановка проблеми. Морозиво було та лишається одним з найпопулярніших заморожених десертів у всьому світі серед споживачів усіх вікових і соціальних груп. Останнім часом у США та країнах Європи прискореними темпами зростає популярність низькокалорійного морозива (Sipple, Racette, Schiano, & Drake, 2022) з підвищеною біологічною цінністю, як-то морозиво зі зниженим вмістом жиру, знежирене, фруктове, овочеве та горіхове, шербети, заморожений йогурт та інші заморожені продукти (Kilara, & Chandan, 2015; Chuck-Hernandez, García-Cayuela, & Méndez-Merino, 2022).

Отже, розширення асортименту низькокалорійного морозива молочного з овочами, обробленою різними способами, є актуальним напрямом наукового дослідження прикладного характеру.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Численні дослідження вітчизняних і зарубіжних вчених присвячені розробленню оригінальних рецептур морозива з овочами. Зокрема, в Україні розроблено склад морозива пломбірної групи жирністю 12,5% із пюре з селери і шпинату. Як стабілізатор структури застосовано гарбузове борошно у кількості 2—4%. Натомість, хімічний склад такого морозива, зокрема за вмістом сухого знежиреного молочного залишку, який досягає 20%, значно перевищує існуючі нормативи і не є доцільним як з точки зору досягнення характерних для морозива органолептичних та фізико-хімічних показників, так і за високої собівартості готового продукту. Для підвищення вмісту розчинного пектину рослинне пюре піддають термокислотному гідролізу (Slyvka, Bilyk, Dronyk, & Nagovska, 2021), який є менш ефективним, порівняно з ферментативним гідролізом. Морозиво пломбірної групи з підвищеним вмістом СЗМЗ та з пектиновмісною сировиною містить найменше вільної води, у той же час морозиво низькокалорійне молочне, з підвищеним вмістом вільної води, передусім потребує удосконалення рецептурного складу, що не вирішено в цьому дослідженні.

В Україні розроблено технологію морозива молочного з продуктами переробки гарбуза — порошком, отриманим конвективно-вакуумним сушінням (м.ч. 2—6%) і пюре, термічно обробленим і гомогенізованим (м.ч. 26—50%) (Згурський, Поліщук, & Кропивницька, 2011), але виробництво порошку є доволі обмеженим, а теплове оброблення овочевої сировини не є технологічно ефективним.

Популярними овочами у складі морозива є також каротиновмісні гарбуз і морква. Науково доведено доцільність застосування цих овочів у складі морозива на основі рослинного молока у кількості 15% (Hassan, & Barakat, 2018). Однак варто розглянути застосування й інших функціонально-технологічних овочів у складі морозива класичного виду на молочній основі.

Так, у (Jhansi, & Sucharitha, 2013) вивчався вплив додавання томатного соку на сенсорну сприйнятність морозива, але фізико-хімічні властивості цього продукту не досліджувалися.

У (Moreno, 2015) досліджено сенсорну прийнятність кабачкового пюре (*Cucurbita Maxima*) за вмісту від 2,2 до 8,8% для виготовлення морозива. Істотної різниці в рівні прийнятності використання кабачкового пюре для виготовлення морозива з точки зору смаку й текстури не виявлено, однак харчова цінність готового продукту не визначена.

Таким чином, технологія морозива з овочами потребує подальшого розвитку, зважаючи на важливе місце овочів у раціоні людини (Silva Dias, 2010). Овочі в щоденному раціоні сприяють покращенню здоров'я, роботі шлунково-кишкового тракту та зору, знижують ризик деяких форм раку, хвороб серця, інсульту, діабету, анемії, виразки шлунка, ревматоїдного артриту та інших хронічних захворювань (Gemedede, Ratta, Haki, Woldegiorgis, & Beyene, 2015; Keatinge et al., 2010).

Овочі у всіх своїх різноманітних формах забезпечують достатнє споживання більшості вітамінів і поживних речовин, харчових волокон і фітохімічних речо-

вин, які можуть повернути необхідну міру їхнього балансу в раціоні харчування (Kunnumakkara, 2014; Dias, 2012; da Silva Dias, & Imai, 2017).

Застосування овочів і продуктів їх переробки у складі молочних продуктів впливає на їхні фізико-хімічні та сенсорні властивості. Деякі овочеві волокна є харчовими інгредієнтами, які виконують функції замінників жиру, вологозв'язувальних агентів, загущувачів, гелеутворювачів, пребіотиків. Отже, збагачення молочних продуктів овочами підвищуватиме їх харчову цінність і прийнятність споживачами (Manzoor, Singh, Gani, & Noor, 2021; Salehi, 2021).

Розчинний пектин у складі овочів є найбільш технологічно активним структурним гетеро полісахаридом (Hanani, Yee, & Nor-Khaizura, 2019), який широко використовується в харчовій промисловості як гелеутворювач, емульгатор і полімер-носії для інкапсуляції харчових інгредієнтів. Гелеутворюючі властивості пектину обумовлюються вмістом галактуронової кислоти, ступенем етерифікації та ступенем метилування (Perussello, Zhang, Marzocchella, & Tiwari, 2017). Серед природних пектинових речовин особливе місце займає нерозчинний у воді протопектин — високомолекулярний пектиновий комплекс, який разом з целюлозою та геміцелюлозами утворює каркас клітинної стінки. Для деструкції протопектину та підвищення вмісту розчинного пектину, зазвичай, застосовують кислотний, лужний або ферментативний гідроліз (Каліновська, Оболкіна, & Кияниця, 2013).

Кислотний гідроліз протопектину проводять при рН в діапазоні 1,5—3,0 одиниць протягом 0,5—6,0 год за температури 60—100 °С (Bhardwaj, Degrassi, & Bhardwaj, 2017). Проте такі умови характеризуються жорсткими умовами оброблення овочів, що може призвести до часткової втрати їхніх структуруючих властивостей.

Більш ефективними є біотехнологічні методи оброблення овочів, зокрема ферментативний гідроліз, який здійснюються за допомогою пектолітичних ферментів: пектинази, протопектинази та пек тази (Patidar, Nighojkar, Kumar, & Nighojkar, 2018). Авторами доведено доцільність застосування ферментативного гідролізу протопектину в пюре з моркви, буряку, кабачків, броколі і томатів, порівняно з кислотним гідролізом, за умови інактивації ферменту шляхом короткочасного теплового оброблення для запобігання надлишкової деструкції пектину за збереження максимальної кількості біологічно-активних сполук (Sapiga, Polischuk, Breus, & Osmak, 2021). Саме тому в складі морозива молочно-овочевого доцільно застосовувати ферментативно оброблені овочеві пюре з підвищеним вмістом розчинного пектину, що й визначає актуальність пропонованого наукового дослідження.

Мета дослідження: вивчення впливу овочів з підвищеним вмістом розчинного пектину на показники якості низькокалорійного молочного морозива.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі завдання:

- вивчити фізико-хімічні показники овочевих пюре різних способів оброблення;
- дослідити органолептичні та фізико-хімічні показники морозива молочного з різними овочами за їх змінного вмісту;
- на основі порівняльного аналізу одержаних результатів дослідження розробити рекомендації щодо складання базових рецептур морозива з овочами.

Матеріали і методи. Як овочеву сировину було обрано овочі, які містять пектинові речовини, пігменти, мікро- та макроелементи, є дешевими і доступними на вітчизняному продовольчому ринку, зокрема моркву столову сорту «Королева осені», буряк столовий «Делікатесний», томати «Астерікс F1», кабачки «Кавілі» та броколі сорту «Ягуар».

Для одержання гомогенного пюре з підвищеним вмістом розчинного пектину овочі мили, очищували, розрізували на шматочки розмірами 20×20 мм, бланшу-вали до розм'якшення до 5 хв, подрібнювали за температури 50—55 °С до однорідної маси до розміру часточок не більших за 1—2 мм.

З метою підвищення вмісту розчинного пектину в овочевих пюре було прийнято дві схеми їх оброблення:

- термокислотний гідроліз протопектину (рН = 3,0 од., температура 90 °С, тривалість оброблення 40 хв) (Canteri, Moreno, Wosiacki, & Scheer, 2012).

- ферментативний гідроліз протопектину (масова частка ферменту «Пектолад» («Ензим», Україна) — 0,1%, температура ферментації 40 °С, час обробки — 2 год). Після завершення ферментації пектин азу інактивували нагріванням зразків до температури 90 °С без витримки (Поліщук, Сапіга, Осьмак, & Шевченко, 2021).

Базовий склад сумішей для виробництва морозива: м.ч.ж. 3,5%, СЗМЗ 10%, цукру 15%, альгінат натрію 0,2%. Альгінат натрію застосовано у мінімально допустимій кількості як гідроколоїд, який виявляє синергізму присутності пектину (Gohil, 2011).

Молочно-овочеві суміші одержували послідовним змішуванням рецептурних інгредієнтів з подальшою їх пастеризацією (85 ± 2 °С, 3 хв), гомогенізацією ($12,0 \pm 1,0$ МПа), охолодженням (4 ± 2 °С), додаванням овочевих пюре, перемішуванням впродовж 1—2 хв та витриманням упродовж 2 годин. Прийнятний діапазон вмісту овочів у морозиві було задано в межах від 10 до 35%.

Зразки морозива одержували за допомогою фризера періодичної дії ФПМ-3,5/380-50 «Ельбрус-400» із закладкою сумішей масою 4 кг.

Процес фризирования проводили у 2 етапи:

- 1 етап — охолодження сумішей впродовж 2-3 хв за частоти обертів мішалки шкребкового типу 270 хв⁻¹ до температури -2 °С;

- 2 етап — збивання охолоджених сумішей впродовж 3 хв за частоти обертів мішалки 540 хв⁻¹.

М'яке морозиво вивантажували з барабана фризера у полімерні ємності об'ємом по 100 см³, герметично закривали і зберігали в морозильній камері за температури мінус (18 ± 2 °С).

Органолептичні показники морозива оцінювали відповідно до стандарту ISO 22935-3:2009 (ISO 22935-3:2009/IDF 99-3:2009, 2009). Комісія з 12 експертів визначала якість зразків морозива за гедоністичною шкалою (1 — погано, 2 — прийнятно, 3 — добре, 4 — дуже добре, 5 — відмінно) (Elsamani, 2016) за такими індивідуальними сенсорними атрибутами: консистенція, смак, аромат, колір, зовнішній вигляд.

Бали за окремими атрибутами відмічали на осях діаграм для одержання сенсорних профілів кожного зразка морозива. Вплив кожного атрибута на визначен-

ня загальної сенсорної якості перераховували з урахуванням коефіцієнтів вагомості за прийнятою бальною шкалою, які наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Коефіцієнти вагомості та максимально можливі бали з їх урахуванням для оцінки органолептичних показників зразків морозива

Показник	Балові оціночні шкали	Коефіцієнт вагомості	Максимально можливі бали
Консистенція	5,0	0,3	7,5
Смак	5,0	0,3	7,5
Аромат	5,0	0,2	5,0
Зовнішній вигляд	5,0	0,1	2,5
Колір	5,0	0,1	2,5
Загальний зважений бал	25,0	1,0	25,0

Середні бали для кожного атрибута застосовували для розрахунку загальної сенсорної якості, яка визначалася як середньозважене значення балів. Зразки морозива диференціювали за рівнем якості відповідно до розрахованого загального зваженого бала таким чином: відмінний (20—25 балів); добрий (16—19,9 бала); задовільний (11—15,9 бала); практично неприйнятний (6—10,9 бала); неприйнятний (менше 6 балів). Проби морозива перед оцінюванням попередньо теплювали до температури мінус (13 ± 2) °C.

Збитість морозива у відсотках визначали ваговим методом (Rybak, 2013), опіртаненню за динамікою накопичення рідкої фази морозива в умовах отеплення за температури 20—22 °C (Nateghi, Rezaei, Jafarian, & Ghofrani, 2018), активну кислотність — за загальновідомим потенціометричним методом.

Активність води (A_w) у сумішах морозива визначали за допомогою приладу «HygroLab 2» (Rotronic, Швейцарія) за температури 18—20 °C з точністю вимірювання 1,5% від значення. Активність води виражається значеннями від 0,00 до 1,00 A_w (0...100% rh) (Кузьмик, Басс, & Миколів, 2020).

Масову частку розчинного пектину в овочевих пюре визначали кальцій-пектатним методом (Wang, Du, Chen, Shi, & Li, 2021). Обробку статистичних даних проведено за допомогою програми Statistika 10, побудову діаграм здійснено у Microsoft Excel 2016.

Викладення основних результатів дослідження. Для підвищення вмісту розчинного пектину (РП) в пюре з різних овочів їх попередньо піддавали ферментації і термокислотному обробленню відповідно до існуючих рекомендацій, що наведені вище. Масову частку розчинного пектину в овочевих пюре, оброблених різними способами, наведено на рис. 1.

За даними рис. 1, більший вихід РП виявлено у разі застосування ферментації овочевих пюре, порівняно з їх термокислотним обробленням. Застосування ферментолізу має позитивний ефект ще й з точки зору менших теплових витрат та відсутності агресивного впливу високих температур і кислотності середовища на біологічно-активні сполуки овочів. Водночас термокислотний гідроліз протопектину є більш доступним за доволі близького ступеня його деструкції, порівняно з ферментативним обробленням, тому він також може бути рекомендований для подальшого практичного застосування. Зважаючи на це, у пропонованому дослі-

дженні застосовано овочі, оброблені як ферментативно, так і за високих температур та кислотності.

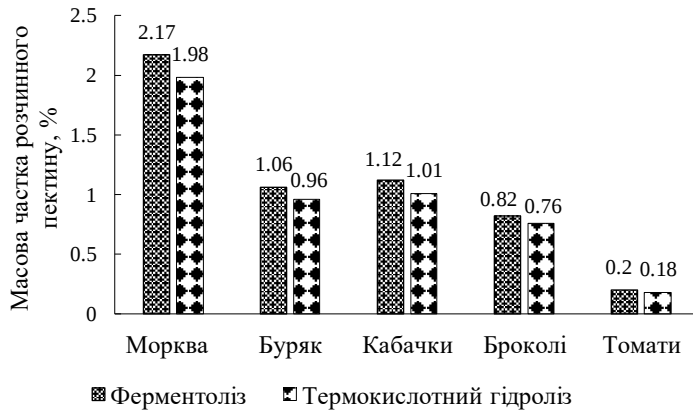


Рис. 1. Масова частка розчинного пектину в овочевих пюре за різних способів гідролізу протопектину

Суміші морозива з варійованим вмістом овочевих пюре досліджували за фізико-хімічними та органолептичними показниками якості. Активну кислотність сумішей за змінного вмісту овочевих пюре, що були ферментовані й термічно гідролізовані, наведено у табл. 2 і 3.

Таблиця 2. Активна кислотність сумішей морозива з різним вмістом овочевих пюре, що були піддані ферментолізу ($P \geq 0,95$, $n=3$)

Вид овочевого пюре	Масова частка овочевого пюре, %					
	10	15	20	25	30	35
Контроль (без пюре)	6,44±0,32					
Морквяне	6,47±0,23	6,48±0,32	6,48±0,32	6,48±0,32	6,49±0,32	6,49±0,32
Бурякове	6,51±0,33	6,52±0,33	6,54±0,33	6,56±0,33	6,56±0,33	6,58±0,33
Кабачкове	6,51±0,33	6,51±0,33	6,53±0,33	6,54±0,33	6,54±0,33	6,54±0,33
З броколі	6,50±0,33	6,49±0,32	6,49±0,32	6,48±0,32	6,47±0,32	6,47±0,32
Томатне	6,21±0,31	6,14±0,31	6,03±0,30	5,96±0,30	5,89±0,29	5,83±0,29

Таблиця 3. Активна кислотність сумішей морозива з різним вмістом овочевих пюре, що були піддані кислотному гідролізу ($P \geq 0,95$, $n=3$)

Вид овочевого пюре	Масова частка овочевих пюре, %					
	10	15	20	25	30	35
Контроль (без пюре)	5,67±0,28					
Морквяне	5,18±0,26	4,91±0,25	4,87±0,24	4,73±0,24	4,52±0,23	4,49±0,22
Бурякове	5,27±0,26	5,02±0,25	4,89±0,24	4,71±0,24	4,60±0,23	4,48±0,22
Кабачкове	5,16±0,26	5,00±0,25	4,91±0,25	4,79±0,24	4,67±0,23	4,65±0,23
З броколі	5,07±0,25	5,00±0,25	4,85±0,24	4,74±0,24	4,62±0,23	4,49±0,22
Томатне	5,00±0,25	4,90±0,25	4,71±0,24	4,54±0,23	4,39±0,22	4,22±0,21

За даними табл. 2 і 3 можна зробити висновок, що застосування овочевих пюре після кислотного гідролізу потребує особливих умов їх поєднання з молочною основою. Зокрема, з метою запобігання термокислотному зсіданню білків молока в сумішах морозива молочну та овочеву основи рекомендовано змішувати тільки після їх окремого теплового оброблення та охолодження до температури визрівання, як це прийнято в технології морозива з плодово-ягідною сировиною (Karaman et al., 2014).

На рис. 2 на прикладі морквяного пюре наведені значення активності води у зразках свіжого, ферментованого і термічно обробленого пюре, а також сумішей морозива молочного з овочевими пюре у кількості 20% і без них.

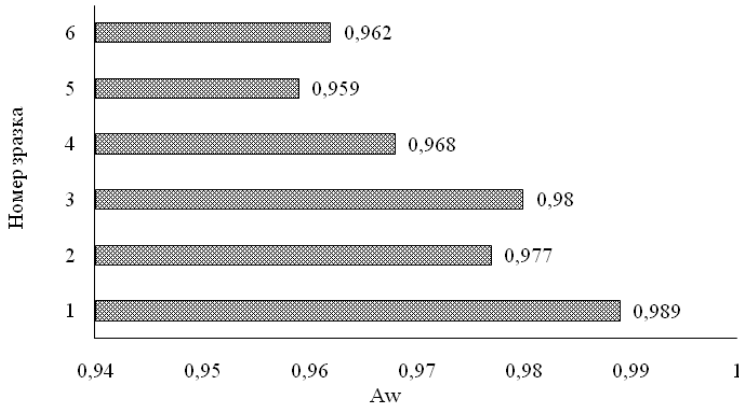


Рис. 2. Активність води в овочевому пюре та сумішах морозива молочного з овочевим пюре: 1 — пюре свіже; 2 — пюре ферментоване; 3 — пюре гідролізоване; 4 — суміш молочна; 5 — суміш молочна з ферментованим пюре; 6 — суміш молочна з гідролізованим пюре

Відповідно до рис. 2, найнижчі значення активності води виявлені для сумішей морозива (масова частка сухих речовин 28,5%), які додатково містять 2,4% сухих речовин овочів. Найвища активність води виявлена для свіжого овочевого пюре (масова частка сухих речовин 12%) за найбільшого вмісту вільної води. Ферментування і термокислотне оброблення морквяного пюре за рахунок підвищення вмісту розчинного пектину дещо знижують активність води в овочах. Пектин у складі овочів як активний вологозв'язувальний інгредієнт призводить до певного концентрування розчинних сполук у залишку вільної води, що й знижує показник активності води. Отже, опосередковано доведено позитивний вплив на стан водної фази підвищеного вмісту розчинного пектину в овочевих пюре, зокрема в складі сумішей молочного морозива.

Вплив пектинових речовин та інших складових овочевих пюре на фізико-хімічні властивості морозива вивчали шляхом визначення збитості та опору таненню морозива молочного за змінного вмісту овочів різних способів оброблення в продукті. Збитість м'якого морозива з овочами наведено на рис. 3 і 4.

За результатами аналізу рис. 3 і 4 очевидною є тенденція поступового підвищення збитості морозива від 50% до 75—77% для всіх овочів за різних способів

їх оброблення, що можна пояснити позитивним впливом гідратопектину та інших складових овочевих пюре.

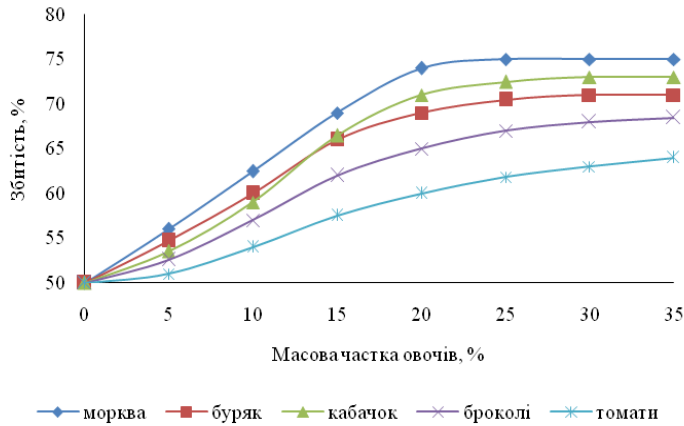


Рис. 3. Збитість м'якого морозива з різним вмістом овочів, підданих термокислотному обробленню

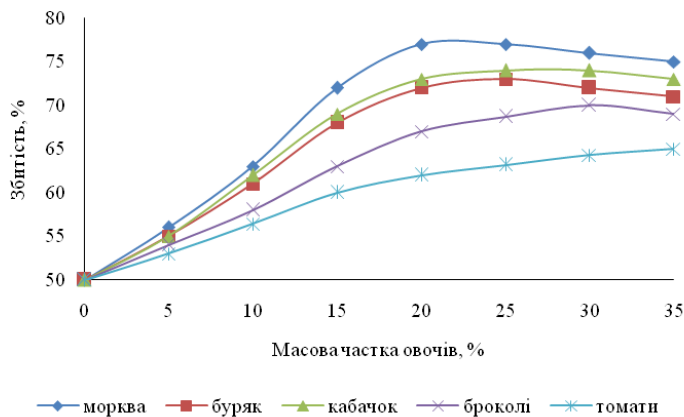


Рис. 4. Збитість м'якого морозива з різним вмістом овочів, підданих ферментативному обробленню

У той же час, після перевищення певного граничного вмісту сухих речовин овочів (20—30%), що спостерігається тільки для ферментованих пюре, спостерігається незначне зниження збитості морозива. Такий ефект, імовірно, спричинений надлишковим структуруванням сумішей за підвищення загального вмісту сухих речовин, зокрема біополімерів. Для доведення такого припущення необхідно буде додатково дослідити реологічні характеристики сумішей молочно-овочевих.

Стабілізаційну здатність сухих речовин овочів, яку можна визначити як час появи першої краплини рідкої фази, що відділяється з об'єму проби нагрітого морозива, наведено в табл. 4.

Сухі речовини всіх овочів підвищують здатність морозива чинити опір таненню. Слід відмітити більший вплив на цей показник овочів ферментованих, порівняно з овочами після термокислотного оброблення. Ступінь впливу овочів на стабільність структури морозива співвідноситься з їхнім впливом на збитість цього продукту. Таким чином, виявлено як найефективніший стабілізуючий компонент ферментоване пюре з моркви.

Таблиця 4. Час появи першої краплини рідкої фази під час отеплення зразків морозива з варійованим вмістом овочів, хв, $P \geq 0,95$, $n=3$

Вид овочів*		Масова частка овочевого пюре, %						
		0	10	15	20	25	30	35
Морква	1	7,1±0,3	9,1±0,4	12,3±0,5	14,6±0,6	16,0±0,6	17,4±0,7	18,0±0,7
	2		11,1±0,4	13,5±0,5	15,7±0,6	17,2±0,7	18,0±0,7	19,2±0,8
Буряк	1		8,3±0,3	10,2±0,4	13,0±0,5	15,2±0,6	16,3±0,7	17,4±0,7
	2		9,3±0,4	11,3±0,5	14,2±0,6	16,2±0,6	17,4±0,7	18,6±0,7
Кабачок	1		8,2±0,3	10,8±0,4	13,6±0,5	15,9±0,6	16,7±0,7	17,4±0,7
	2		9,8±0,4	11,8±0,5	14,8±0,6	16,7±0,7	17,5±0,7	18,9±0,8
Броколі	1		7,9±0,3	8,7±0,3	10,5±0,4	11,6±0,5	13,4±0,5	15,7±0,6
	2		9,0±0,4	10,0±0,4	11,3±0,5	12,2±0,5	14,5±0,6	16,3±0,7
Томати	1		7,2±0,3	7,5±0,3	7,8±0,3	8,4±0,3	8,8±0,4	9,2±0,4
	2		7,5±0,3	8,0±0,3	8,8±0,4	9,1±0,4	9,4±0,4	9,9±0,4

Примітка: 1 — термокислотне оброблення; 2 — ферментативне оброблення

Проведено комплексну органолептичну оцінку зразків морозива з овочами різних способів оброблення за їх змінного вмісту. Попередньо було зроблене припущення, що органолептичні характеристики морозива суттєво залежатимуть від виду овочів та їх вмісту в морозиві. За низького вмісту овочів у морозиві органолептичні показники цього продукту можуть бути невиражені, але за перевищення певної межі овочі можуть надавати морозиву нехарактерні смак, аромат, консистенцію.

Профілограми зразків морозива з овочевим пюре різних способів оброблення на прикладі молочно-морквяного продукту наведено на рис. 5 і 6.



Рис. 5. Профілограма органолептичних показників морозива молочно-овочевого з різним вмістом морквяного пюре, обробленого термокислотним способом

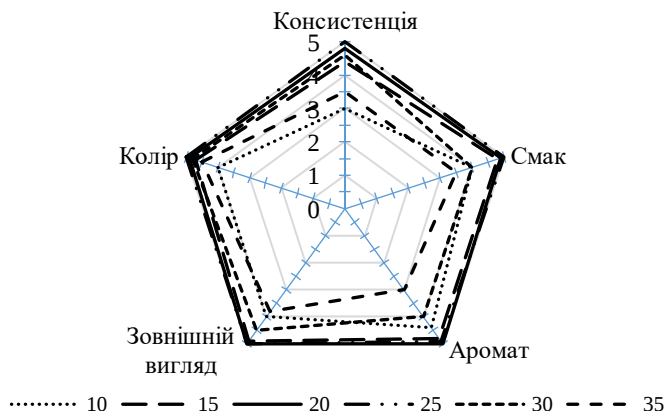


Рис. 6. Профілограма органолептичних показників морозива молочно-овочевого з різним вмістом ферментованого морквяного пюре

Порівняльний аналіз профілограм на рис. 5 і 6 наочно демонструє певну перевагу застосування пюре ферментованого. Така закономірність підтверджується і для інших овочів.

Загальний зважений бал органолептичної оцінки всіх зразків морозива з різними овочами наведено у табл. 5 і 6.

Таблиця 5. Загальний зважений бал органолептичної оцінки та рівень якості морозива з овочевими пюре, обробленими термокислотним способом

Вид овочевого наповнювача	Масова частка овочевих пюре, %					
	10	15	20	25	30	35
Загальний зважений бал						
Морква	19,5	22,5	24,6	19,5	15,7	13,3
Бурак	21	22,0	19,1	15,2	10,3	8,1
Кабачок	19,7	21,3	21,4	19,0	14,8	12,9
Броколі	20,3	20,1	19,7	15,5	13,8	10,1
Томати	16,6	17,0	19,5	18,7	15,2	10,1
Рівень якості						
Морква	добрий	відмінний		добрий	задовільний	
Бурак	відмінний		добрий	задовільний	практично неприйнятний	
Кабачок	добрий	відмінний		добрий	задовільний	
Броколі	відмінний	відмінний	добрий	задовільний		практично неприйнятний
Томати	добрий				задовільний	практично неприйнятний

Усі проаналізовані зразки морозива не відрізнялися ($P \geq 0,95$) за рівнем якості на 1-й і на 30-й день дослідження.

За даними табл. 5 і 6 встановлено рекомендований вміст овочевих пюре у складі морозива молочно-овочевого, що наведений у табл. 7.

Таблиця 6. Загальний зважений бал органолептичної оцінки та рівень якості морозива з ферментованими овочевими пюре

Вид овочевого наповнювача	Масова частка овочевих пюре, %					
	10	15	20	25	30	35
Загальний зважений бал						
Морква	19,5	19,9	25	24,5	19,7	15,3
Буряк	19,5	22,6	22,8	19,2	15,2	11,5
Кабачок	14,4	15,5	19,1	21,9	22,0	19,6
Броколі	19,2	20,7	20,8	18,9	15,2	13,1
Томати	13,8	15,5	19,4	19,8	19,5	15,7
Рівень якості						
Морква	добрий		відмінний		добрий	задовільний
Буряк	добрий	відмінний		добрий	задовільний	
Кабачок	задовільний		добрий	відмінний		добрий
Броколі	добрий	відмінний	відмінний	добрий	задовільний	
Томати	задовільний		добрий			задовільний

Таблиця 7. Рекомендований вміст овочевих пюре у складі морозива молочно-овочевого, %

Вид овочів	Спосіб оброблення овочів	
	Ферментація	Термокислотний гідроліз
Морква	20—25	15—20
Буряк	15—20	10—15
Кабачки	25—30	15—20
Броколі	15—20	10—15
Томати	25—30	20—25

Підсумком проведеного дослідження є рекомендації щодо складання базових рецептур морозива молочно-овочевого. Так, серед зразків морозива, які одержали найвищі загальні зважені бали слід відзначити такі, що містили морквяне (22,5—25,0 балів), буякове (21,0—22,8 бала) і кабачкове (21,3—22,0 бали) пюре, оброблене різними способами. Ферментовані пюре забезпечували формування більш однорідної кремоподібної консистенції, порівняно з овочами, що були піддані термокислотному гідролізу. Морозиво з броколі (20,1—20,8 бала) і томатами (19,5—19,8 бала) з метою покращання смаку, аромату та консистенції рекомендовано поєднувати з іншими овочами. Саме це завдання визначено як подальший напрям наукового дослідження.

Висновки

1. Більший вихід розчинного пектину виявлено у разі застосування ферментації овочевих пюре, порівняно з їх термокислотним обробленням. Підвищена кислотність овочевих пюре, оброблених термокислотним способом, потребує низькотемпературних умов їх поєднання з молочною основою. Ферментування і термокислотне оброблення дещо знижують активність води в овочах за рахунок підвищеного вмісту розчинного пектину

2. За комплексом показників якості зразків морозива з овочами визначено, що найбільшою технологічною активністю володіють овочеві пюре з моркви, буряку та кабачків, дещо нижчою — пюре з броколі і найнижчою пюре з томатів.

3. На основі порівняльного аналізу результатів дослідження розроблено рекомендації щодо складання базових рецептур морозива з овочами. Зокрема, для застосування у рецептурах морозива рекомендовано пюре овочеве різних способів оброблення у кількості: 15—25% — для моркви; 10—20% — для буряку; 15—30% — для кабачків; 10—20% — для броколі та 20—30% — для томатів. Пюре з моркви, буряку та кабачків можуть застосовуватися як окремі поліфункціональні наповнювачі, а пюре з броколі і томатами рекомендовано застосовувати у сполученні з іншими овочами.

Література

Згурський, А. В., Поліщук, Г. Є., Кропивницька, І. О. (2011). Перерозподіл пектинових речовин в овочевій сировині при виробництві морозива. *Харчова промисловість*, 10, 50—55.

Каліновська, Т. В., Оболкіна, В. І., Кияниця, С. Г. (2013). Дослідження вмісту пектинових речовин напівфабрикатів з виноградних вичавок та визначення їх сорбційних властивостей. *Харчова наука і технологія*, (4), 69—74.

Кузьмук, У. Г., Басс, О. О., Миколів, І. М. (2020). Дослідження показника активності води паст кисломолочних. *Наукові праці НУХТ*, 6, 174—179.

Поліщук, Г. Є., Сапіга, В. Я., Осьмак Т. Г., Шевченко І. І. (2021). Порівняльний аналіз структуруючої здатності овочевих пюре у складі сумішей морозива. *Наукові праці НУХТ*, 27(4), 154—164. doi: <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2021-27-4-16>.

Bhardwaj, V., Degrassi, G., Bhardwaj, R. K. (2017). Microbial pectinases and their applications in industries: a review. *Polymer*, 4(8), 829—836.

Canteri, M. H., Moreno, L., Wosiacki, G., Scheer, A. D. P. (2012). Pectina: da matéria-prima ao produto final. *Polímeros*, 22, 149—157. doi: <https://doi.org/10.1590/s0104-14282012005000024>.

Chuck-Hernandez, C., García-Cayuela, T., Méndez-Merino, E. (2022). Dairy-Based Snacks. In *Snack Foods*, CRC Press, 417—448.

Da Silva Dias, J. C., Imai, S. (2017). Vegetables consumption and its benefits on diabetes. *Journal of Nutritional Therapeutics*, 6(1), 1—10. doi: <https://doi.org/10.6000/1929-5634.2017.06.01.1>.

Dias, J. S. (2012). Nutritional quality and health benefits of vegetables: A review. *Food and Nutrition Sciences*, 3(10), 1354—1374. doi: <https://doi.org/10.4236/fns.2012.310179>.

Elsamani, M. O. (2016). Probiotics, organoleptic and physicochemical properties of vegetable milk based bio-ice cream supplemented with skimmed milk powder. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 5(5), 361—366. doi: <https://doi.org/10.11648/j.ijnfs.20160505.17>.

Gemed, H. F., Ratta, N., Haki, G. D., Woldegiorgis, A. Z., Beyene, F. (2015). Nutritional quality and health benefits of okra (*Abelmoschus esculentus*): A review. *J. Food Process Technol.*, 6(458), 2.

Gohil, R. M. (2011). Synergistic blends of natural polymers, pectin and sodium alginate. *Journal of Applied Polymer Science*, 120(4), 2324—2336. doi: <https://doi.org/10.1002/app.33422>.

Hanani, Z. N., Yee, F. C., Nor-Khaizura, M. A. R. (2019). Effect of pomegranate (*Punica granatum L.*) peel powder on the antioxidant and antimicrobial properties of fish gelatin films as active packaging. *Food Hydrocolloids*, 89, 253—259. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.10.007>.

Hassan, M. F., Barakat, H. (2018). Effect of carrot and pumpkin pulps adding on chemical, rheological, nutritional and organoleptic properties of ice cream. *Food and Nutrition Sciences*, 9(8), 969—982. doi: <https://doi.org/10.4236/fns.2018.98071>.

ISO 22935-3:2009 / IDF 99-3:2009. (2009). Milk and milk products. Sensory analysis. Part 3: Guidance on a method for evaluation of compliance with product specifications for sensory properties by scoring.

- Jhansi, D., Sucharitha, K. V. (2013). Formulation and standardization of value added ice-cream with tomato. *Indian J. Applied Res*, 3(8), 322—323. doi: <https://doi.org/10.15373/2249555x/aug2013/100>.
- Karaman, S., Toker, Ö. S., Yüksel, F., Çam, M., Kayacier, A., Dogan, M. (2014). Physico-chemical, bioactive, and sensory properties of persimmon-based ice cream: Technique for order preference by similarity to ideal solution to determine optimum concentration. *Journal of dairy Science*, 97(1), 97—110. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7111>.
- Keatinge, J. D., Waliyar, F., Jamnadas, R. H., Moustafa, A., Andrade, M., Drechsel, P., Luther, K. (2010). Relearning old lessons for the future of food—by bread alone no longer: diversifying diets with fruit and vegetables. *Crop Science*, 50, S—51—S—62. doi: <https://doi.org/10.2135/cropsci2009.09.0528/>
- Kilara, A., Chandan, R. C. (2015). Ice cream and frozen desserts. *Dairy processing and quality assurance*, 367—396. doi: <https://doi.org/10.1002/9781118810279.ch16>.
- Kunnumakkara, A. B. (2014). Anticancer properties of fruits and vegetables: A scientific review. *World Scientific Publishing Co Pte Ltd*, 400.
- Manzoor, M., Singh, J., Gani, A., Noor, N. (2021). Valorization of natural colors as health-promoting bioactive compounds: Phytochemical profile, extraction techniques, and pharmacological perspectives. *Food Chemistry*, 362, 130141. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130141>.
- Moreno, R. B. (2015). Sensory Acceptability of Squash (Cucurbita Maxima) in Making Ice Cream. *Asia Pacific Journal of Multidisciplinary Research*, 3(1), 18—24.
- Nateghi, L., Rezaei, M., Jafarian, Z., Ghofrani, N. (2018). The feasibility of manufacturing vegetable ice cream using sesame and hempseed milks flavored with cacao and coffee. *International Journal of Biology and Biotechnology*, 15(3), 459—463.
- Patidar, M. K., Nighojkar, S., Kumar, A., Nighojkar, A. (2018). Pectinolytic enzymes-solid state fermentation, assay methods and applications in fruit juice industries: a review. *3 Biotech*, 8(4), 1—24. doi: <https://doi.org/10.1007/s13205-018-1220-4>.
- Perussello, C. A., Zhang, Z., Marzocchella, A., Tiwari, B. K. (2017). Valorization of apple pomace by extraction of valuable compounds. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(5), 776—796. doi: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12290>.
- Rybak, O. (2013). The oatmeal using for improving of ice cream structure. *Ukrainian food journal*, 2(4), 499—509.
- Salehi, F. (2021). Quality, physicochemical, and textural properties of dairy products containing fruits and vegetables: A review. *Food Science & Nutrition*, 9(8), 4666—4686. doi: <https://doi.org/10.1002/fsn3.2430>.
- Sapiga, V., Polischuk, G., Breus, N., Osmak, T. (2021). Enzymatic destruction of protopectin in vegetable raw materials to increase its structuring ability in ice cream. *Ukrainian Food Journal*, 10(2), 321—332. doi: <https://doi.org/10.24263/2304-974x-2021-10-2-9>.
- Silva Dias, J. (2010, August). World importance, marketing and trading of vegetables. In *XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (IHC2010): International Symposium on 921* (pp. 153—169). doi: <https://doi.org/10.17660/actahortic.2011.921.18>.
- Sipple, L. R., Racette, C. M., Schiano, A. N., Drake, M. A. (2022). Consumer perception of ice cream and frozen desserts in the “better-for-you” category. *Journal of Dairy Science*, 105(1), 154—169. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21029>.
- Slyvka, N. B., Bilyk, O. Y., Dronyk, G. V., Nagovska, V. O. (2021). Research of quality indicators of parfe ice cream with vegetable fillers. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Food Technologies*, 23(96), 76—81. doi: <https://doi.org/10.32718/nvlvet-f9613>.
- Wang, F., Du, C., Chen, J., Shi, L., Li, H. (2021). A new method for determination of pectin content using spectrophotometry. *Polymers*, 13(17), 2847. doi: <https://doi.org/10.3390/polym13172847>.

IN VITRO GELATINIZATION OF POTATO STARCH WITH EXCESSIVE WATER CONTENT. 1. KINETICS OF THE PROCESS IN ISOTHERMAL CONDITIONS

I. Sknar, V. Myrhorodska-Terentieva, S. Dolzhykov, M. Nikolenko

Ukrainian State University of Chemical Technology

Key words:

*Potato starch
Gelatinization
Kinetics
Krueger-Ziegler model
Gelatinization process*

Article history:

Received 16.01.2023
Received in revised form
02.02.2023
Accepted 16.02.2023

Corresponding author:

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

ABSTRACT

The wide use of starches in the food industry determines their comprehensive study over many years. One of the key problems that need to be solved for the improvement of food technologies in which starch is used is the definition of the basic laws of the kinetics of the gelatinization process of starches. The purpose of this work was to determine the kinetic parameters of the gelatinization process of native potato starch with excessive water content in the reaction mixture (the modulus is 10 g/l) and to select the appropriate kinetic model. It was found that the kinetics of the gelatinization process of native potato starch is described by the Krueger-Ziegler equation. It is shown that the dependence of the rate constant of the gelatinization process on the temperature in Arrhenius coordinates has the shape of a convex curve. It can be assumed that at a temperature below 70 °C the process proceeds in the kinetic region with the limiting stage of the chemical reaction at the interface of the phases and when the temperature increases then transition to the diffusion region occurs. It is assumed that the essence of the specified chemical reaction means the formation or destruction of hydrogen bonds during the interaction between water molecules and amylose. The values of the imaginary activation energy of the gelatinization process calculated from experimental data are 191.3 kJ/mol in the temperature range of 60—70 °C and 22.2 kJ/mol in the temperature range of 80—90 °C. The high values of the activation energy at a temperature below 70 °C can be explained by the energy spent on breaking hydrogen bonds between the OH groups of amylose macromolecules. It is proposed to intensify the process of gelatinization of starch by increasing the temperature and using a catalyst at temperatures below 70 °C. If the process is carried out in the area of high temperatures, then its intensification can be achieved by grinding starch granules and increasing the mixing speed of the starch suspension.

КЛЕЙСТЕРИЗАЦІЯ КАРТОПЛЯНОГО КРОХМАЛЮ СПОСОБОМ *IN VITRO* ЗА НАДМІРНОГО ВМІСТУ ВОДИ.

1. КІНЕТИКА ПРОЦЕСУ В ІЗОТЕРМІЧНИХ УМОВАХ

І. В. Скар, В. Д. Миргородська-Терентьева, С. С. Должиков,
М. В. Ніколенко

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Широке використання крохмалів у харчовій промисловості обумовлює всебічне їх вивчення впродовж багатьох років. Одним із ключових завдань, що потребують вирішення для вдосконалення харчових технологій, в яких використовується крохмаль, є встановлення основних закономірностей кінетики процесу клейстеризації крохмалів. У статті визначено кінетичні параметри процесу клейстеризації нативного картопляного крохмалю при надмірному вмісті води в реакційній суміші (відношення маси крохмалю до об'єму води 10 г/л) та вибір відповідної кінетичної моделі. Встановлено, що кінетика процесу клейстеризації нативного картопляного крохмалю описується рівнянням Крюгера-Циглера. Показано, що залежність константи швидкості процесу клейстеризації від температури в ареніусовських координатах має форму опуклої кривої. Можна вважати, що при температурі нижче 70 °C процес відбувається в кінетичній області з лімітуючою стадією хімічної реакції на межі розділу фаз, а при збільшенні температури відбувається перехід в дифузійну область. Передбачається, що сутність зазначеної хімічної реакції полягає в утворенні або руйнуванні водневих зв'язків при взаємодії молекул води з амілозою. Розраховані за експериментальними даними значення уявної енергії активації процесу клейстеризації становлять 191,3 кДж/моль в інтервалі температур 60—70 °C та 22,2 кДж/моль в інтервалі температур 80—90 °C. Високі значення енергії активації при температурі нижче 70 °C можна пояснити затратами енергії на розрив водневих зв'язків між ОН-групами макромолекул амілози. Запропоновано інтенсифікувати процес клейстеризації крохмалю шляхом підвищення температури та використання каталізатора при температурах нижче за 70 °C. За умови проведення процесу в області високих температур його інтенсифікація може бути досягнута шляхом подрібнення крохмалевих гранул і збільшення швидкості перемішування крохмальної суспензії.

Ключові слова: картопляний крохмаль, клейстеризація, кінетика, модель Крюгера-Циглера, енергія активації.

Постановка проблеми. Незважаючи на тривалу історію вивчення нативних та модифікованих крохмалів, досі їх дослідження не втрачають своєї актуальності у зв'язку з широким застосуванням крохмалів у харчових технологіях. Основною їх технологічною властивістю є здатність до гелеутворення, що називається спеціальним терміном — клейстеризація (Apriyanto, Compart, & Fettke, 2022; Kaur, Kaur, & Kennedy, 2022). Сьогодні загальноприйнято розглядати клейстеризацію у вигляді сукупності таких стадій, як насичення крохмальних гранул водою зі збільшенням їх об'єму (стадія набухання) до розриву їхньої зовнішньої обо-

лонки (мембрани) внаслідок підвищення осмотичного тиску, екстракція амілози з гранул у водний розчин, утворення золю та його перехід у гель (Donmez, Pinho, & Campanella, 2021; Majzoobi, & Farahnaky, 2021; Chavan, та співавт., 2021; Amagliani, O'Regan, & O'Mahony, 2016; Li, 2022; Stefano, Irene, & Ruud, 2021). Розрізняють два способи клейстеризації: *in vitro* — клейстеризація з використанням чистого крохмалю та *in situ* — з використанням цільного зерна. У разі клейстеризації *in vitro* між гранулами крохмалю та молекулами води відсутній фізичний бар'єр, і крохмаль легко доступний для води (Turhan, & Gunasekaran, 2002).

Процес клейстеризації залежить від багатьох факторів впливу, таких як ультразвук, присутність полісахаридів, білків, пектину, цукрів і солі, вміст амілози в гранулах, розмір гранул крохмалю, швидкість нагрівання крохмалю у воді, ступінь плавлення кристалів крохмалю, а також початковий вміст вологи. Така велика кількість факторів, що впливають на процес клейстеризації, говорить про складність цього процесу та необхідність систематизації умов його експериментального дослідження. Вочевидь, необхідною умовою керованого впливу на клейстеризацію крохмалів є розуміння хімізму і наявність модельного опису кінетики цього процесу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У (Turhan, & Gunasekaran, 2002) досліджували кінетику клейстеризації крохмалів твердої та м'якої пшениці *in situ* та *in vitro* при варінні у воді в інтервалі температур 60—100 °C. Було знайдено, що клейстеризація крохмалю в обох випадках слідувала кінетиці реакції першого порядку. Усереднена для всього вивченого температурного інтервалу енергія активації (E_a) для клейстеризації *in vitro* склала 76 кДж/моль. На нашу думку, таке усереднення значень E_a не можна визнати коректним. Наприклад, ці автори розглянули можливість опису експериментальних даних для клейстеризації двома значеннями: 137 кДж/моль при температурі нижче 75 °C і 79 кДж/моль при температурі вище 75 °C. Було висловлено припущення, що раптове зменшення E_a вище 75 °C вказує на деякі структурні зміни, що призводять до більш високої швидкості перенесення води порівняно зі швидкістю процесу клейстеризації. Проте причини зміни співвідношення швидкостей цих процесів незрозумілі і не коментуються.

Аналогічні результати опубліковано авторами (Spigno, & De Faveri, 2004). Вони показали, що якщо експериментальні дані з кінетики клейстеризації описувати в координатах рівняння Ареніуса однією лінійною кореляцією, то з коефіцієнтом кореляції $R^2 = 0,76$ виходить значення E_a близьке до 26 кДж/моль. Однак якщо експериментальні точки описати двома лінійними кореляціями (з коефіцієнтами кореляції більше 0,9), то виходять різні E_a для різних температур: до 79 °C $E_a = 144$ кДж/моль, вище 79 °C $E_a = 14$ кДж/моль. Вочевидь, значення E_a , знайдене у першому варіанті апроксимації даних із настільки малим значенням коефіцієнта кореляції, немає сенсу.

Ідея описувати кінетику клейстеризації двома енергіями активації вперше була висловлена у (Suzuki, Kubota, & Hosaka, 1976), де виявлено, що значення E_a для клейстеризації білого рису при температурі вище і нижче 75 °C становлять 83 і 37 кДж/моль відповідно. Ефект залежності E_a процесу клейстеризації від температури спостерігали також багато інших авторів. Наприклад, для клейстеризації *in vitro* ряду крохмалів знайдено такі значення енергій активації:

234 кДж/моль для інтервалу температур 67—86 °C (Okechukwu, & Rao, 1996), 110 кДж/моль для інтервалу 53—65 °C (Shiotsubo, 1983), 42 кДж/моль для інтервалу 73—92 °C (Kubota, Hosokawa, & Hosaka, 1979).

Ряд авторів обговорюють ефект зміни E_a в процесі клейстеризації вище за певну температуру в термінах певної «точки розриву» в кінетиці процесу — так званої критичної температурної точки фазового переходу «тверде тіло — рідина», яка ділить процес клейстеризації на дві стадії: набухання аморфної частини та руйнування кристалічної частини гранул крохмалю (Zhou, Robards, & Blanchard, 2010; Calzetta, & Suarez, 2001; Ojeda, Tolaba, & Suarez, 2000; Yeh, & Li, 1996; Bakshi, & Singh, 1980). По суті, передбачається, що спочатку клейстеризація відбувається по аморфних ділянках, а після точки розриву — по кристалічних. Однак для всіх вивчених крохмалів E_a спочатку вище, а потім після досягнення температури «точки розриву» її величина різко зменшується. Вочевидь, аморфні утворення в гранулах крохмалю легше «зруйнувати», ніж кристалічні, тобто з точки зору послідовного розчинення аморфних і кристалічних частин гранули має спостерігатися зворотна залежність — спочатку E_a менше, а потім більше. Таким чином, уявлення про «точку розриву» в кінетиці процесу не дає змоги пояснити закономірності, що спостерігаються. На нашу думку, уявлення про критичну температурну точку фазового переходу правомірно тільки для цільних гранул. Річ у тому, що при виділенні крохмалю з рослинної сировини частина гранул руйнується. Очевидно, що для зруйнованих гранул стадія їх набухання значно прискорюється, що пояснює спостережуване зниження температури початку клейстеризації. Ця закономірність добре підтверджується відомими фактами можливості часткової клейстеризації крохмалю при температурах, нижчих за «точку розриву» (Ojeda, Tolaba, & Suarez, 2000).

У (Li, 2022) наголошується, що більшість вивчених крохмалів в умовах обмеженого вмісту води показали порядок реакції клейстеризації, близький до 2,5. Це відрізняється від клейстеризації крохмалю в ізотермічних умовах при надлишку води, яка слідує кінетиці першого порядку (Turhan, & Gunasekaran, 2002).

Отже, кінетика та механізм процесів клейстеризації крохмалів досі є предметом інтенсивних досліджень. Дивно, що ефект залежності енергії активації цих процесів від температури досі не знайшов свого пояснення.

Мета дослідження: встановлення кінетичної моделі процесу клейстеризації нативного картопляного крохмалю способом *in vitro* в ізотермічних умовах при надмірному вмісті води. Основними завданнями були визначення констант швидкості та енергії активації процесу клейстеризації в інтервалі температур 60—90 °C.

Матеріали і методи. В експериментах використовували картопляний крохмаль вищого ґатунку (ДСТУ 4286:2004) з масовою часткою вологи 19,9% і загальною золи 0,30%. На нейтралізацію 100 г крохмалю (в перерахунку на суху речовину) витрачалося 8,5 см³ 0,10 М розчину NaOH. Під час розглядання неозброєним оком кількість крапель крохмалю на 1 дм² рівної поверхні складала 164 штуки.

Для дослідження кінетики клейстеризації в круглодонну колбу з лопатевою мішалкою наливали 400,0 мл дистильованої води. Колбу розміщували в термостаті та нагрівали до заданої температури в інтервалі 60—90 °C. Потім у розчин при постійному перемішуванні (не менш 150 об/хв) додавали наважку крохмалю

масою 4,00 г і періодично відбирали по 1,5—2 мл розчину суспензії в центрифужні пробірки. Пробірки з розчинами одразу ж поміщали в холодну воду для зупинки процесу клейстеризації, потім піддавали центрифугуванню впродовж 10 хв при 3000 об/хв. Далі з кожної пробірки відбирали аліквоти прозорих розчинів об'ємом 1,00 мл, переносили їх у мірні колби на 100,0 мл, додавали 0,25 мл 0,05 н розчину йоду, доводили до мітки дистильованою водою і добре перемішували. Вимірювання світлопоглинання розчинів проводили через 30 хв за допомогою спектрофотометра СФ-46 при довжині хвилі 610 нм. З метою визначення максимального (рівноважного) насичення розчину амілозою крохмальну суспензію продовжували витримувати в круглодонній колбі за тих же температур впродовж 6 год, потім відбирали аліквоти розчину та вимірювали світлопоглинання розчину амілози з йодом за описаною вище методикою.

Ступінь клейстеризації розраховували за даними трьох паралельних вимірювань як відношення поточних величин світлопоглинання її розчинів з йодом до його максимального значення для даних умов ізотермічного експерименту. Обрані умови експерименту давали змогу одержувати розчини амілози в концентраціях, які не виходили за межі лінійної залежності світлопоглинання її комплексів з йодом від концентрації: 0—2,2 мг/мл.

Значення енергій активації клейстеризації картопляного крохмалю розраховували із значень тангенса кута нахилу прямолінійних відтинків, побудованих у напівлогарифмічних координатах рівняння Ареніуса:

$$k = A \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right), \quad (1)$$

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

Мікроскопічні дослідження проводили з використанням оптичного мікроскопа NU-2 (Carl Zeiss, Jena, Germany) і скануючого електронного мікроскопа JEOL JSM-6510 (JEOL, Tokyo, Japan).

Викладення основних результатів дослідження. З метою вибору моделі процесу клейстеризації нами було проведено мікроскопічні дослідження крохмалю. На рис. 1 представлена фотографія нативного картопляного крохмалю при 850-кратному збільшенні. Як видно з фотографії, зразки, що досліджуються, містять не тільки цілісні гранули різного розміру округлої форми, але також і частково зруйновані гранули з безліччю дрібніших осколків. На зазублинах зруйнованих гранул виразно видно, що вони вкриті тонкою оболонкою (мембраною).

На рис. 2 показано гістограму розподілу частинок крохмалю за розмірами. У розрахунках використовували як цілісні, так і зруйновані гранули, а частинки з розмірами менше 5 мкм у розрахунках не враховували. Результати підрахунків числа частинок на мікрофотографіях були апроксимовані гаусовими функціями. Згідно з цими апроксимаціями, найбільш імовірний розмір частинок вивченого зразка крохмалю становить 24,4 мкм з напівшириною гаусової кривої розподілу 25,1 мкм.

Таким чином, при моделюванні процесу клейстеризації крохмалю слід враховувати, що частина його гранул зруйнована. Якщо для цілих гранул процес клейстеризації починається з моменту руйнування їх мембранних оболонок (а це ви-

магає часу для дифузії молекул води всередину гранул), то для зруйнованих гранул він повинен починатися практично миттєво при їх внесенні в гарячу воду.

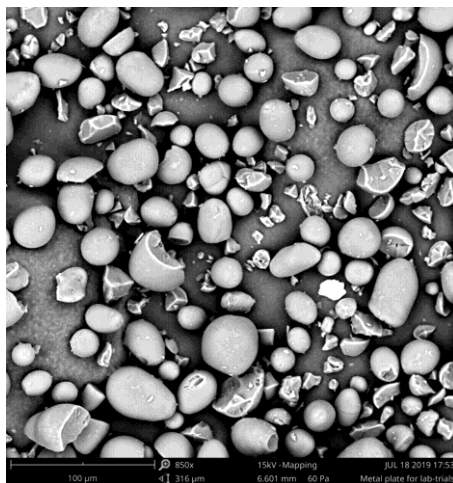


Рис. 1. Мікрофотографія нативного картопляного крохмалю (масштаб 1:850)

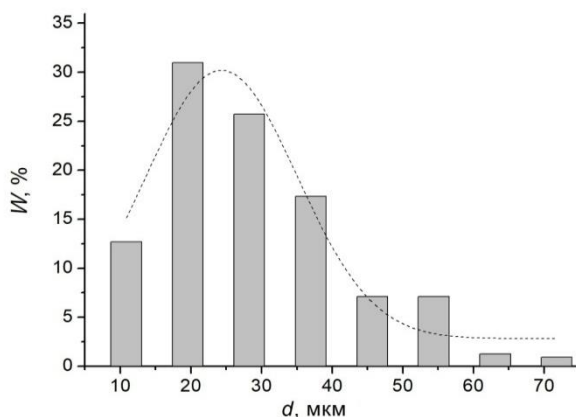


Рис. 2. Гістограма та крива розподілу гранул картопляного крохмалю за розмірами

Оскільки співвідношення цілих і зруйнованих гранул крохмалів може змінюватись у різних зразках, то їх кінетичні моделі можуть відрізнятися. Можливо, це пояснює різноманітність висновків різних авторів щодо можливості застосування до опису експериментальних даних різних кінетичних моделей.

Проведені дослідження кінетики процесу клейстеризації показали закономірне збільшення кількості амілози в розчині зі збільшенням тривалості ізотермічної витримки і температури розчинів. Графіки в координатах $X(t)$ мають вигляд опуклих кривих, які наближаються до насичення зі зростанням тривалості процесу (рис. 3).

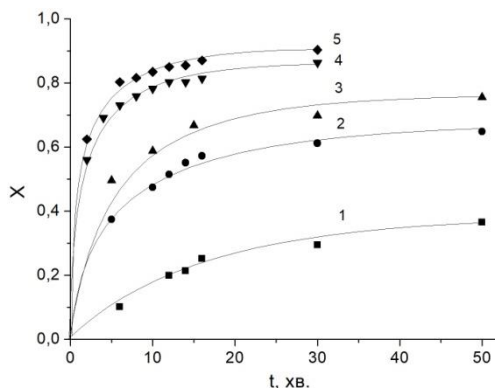


Рис. 3. Залежність ступеня вилучення амілози (X) від часу ізоtermічної витримки (t) при температурі, °C: 1 — 60; 2 — 66; 3 — 69; 4 — 80; 5 — 90

Для аналізу експериментальних результатів використовували ряд кінетичних рівнянь, які застосовуються для опису процесів у системах «тверде тіло — рідина». Найкращі результати ($R^2 > 0,99$) отримали при описі кінетичних даних рівнянням Крюгера-Циглера:

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

де X — ступінь вилучення амілози; k — константа швидкості процесу, що спостерігається; t — час ізоtermічної витримки.

Результати обробки отриманих кінетичних даних процесу клейстеризації картопляного крохмалю в координатах рівняння Крюгера-Циглера показано на рис. 4.

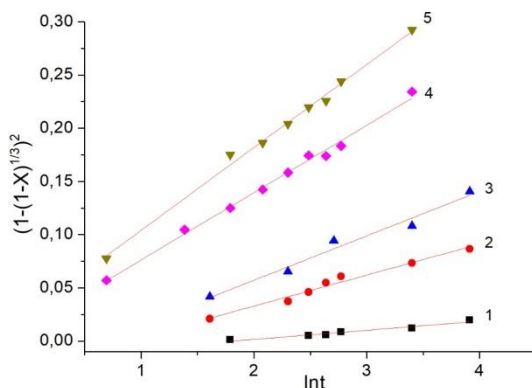


Рис. 4. Кінетичні дані для процесу клейстеризації картопляного крохмалю в координатах рівняння Крюгера-Циглера, модуль $m/V = 10$ г/л; температура, °C: 1 — 60; 2 — 66; 3 — 69; 4 — 80; 5 — 90; час ізоtermічної витримки виражено у хвилинах

У моделі Крюгера-Циглера розглядається гетерогенний хімічний процес між твердим реагентом A і розчинним реагентом B з утворенням твердого продукту реакції AB . У наближенні цієї моделі для сферичної частинки твердого реагенту з ефективним радіусом r_0 за проміжок часу t внаслідок хімічної реакції утвориться шар продукту реакції товщиною z :

$$r = r_0 - z, \quad (3)$$

де r_0 — вихідний радіус; z — товщина шару продукту реакції; r — радіус твердої частинки на певний момент часу t .

Ступінь перетворення твердого реагенту (X) можна виразити через відношення його об'ємів в момент часу t і до початку перетворення:

$$(1-X) = \frac{\left(\frac{4}{3}\right)\pi(r_0-z)^3}{\left(\frac{4}{3}\right)\pi(r_0)^3} = \frac{(r_0-z)^3}{(r_0)^3}, \quad (4)$$

З цього рівняння випливає, що:

$$z = r_0(1-(1-X)^{1/3}), \quad (5)$$

Крюгер і Циглер запропонували розглядати гетерогенний хімічний процес зі змінним коефіцієнтом дифузії частинок реагенту, що переносяться через шар продукту реакції: $D = k_1/t$. Використовуючи модель Яндера (з параболічним законом залежності від часу поступового наростання шару продукту реакції), швидкість зміни товщини шару продукту реакції вони представили в такому вигляді:

$$\frac{dz}{dt} = \frac{DV_m C_0}{z} = \frac{k_1 V_m C_0}{tz}, \quad (6)$$

де D — коефіцієнт дифузії; V_m — мольний об'єм продукту реакції; C_0 — концентрація розчинного реагенту на поверхні.

Після поділу змінних та інтегрування цього рівняння:

$$\int z dz = \int V_m C_0 k_1 \frac{dt}{t}, \quad (7)$$

отримуємо:

$$z^2 = 2V_m C_0 k_1 \ln t. \quad (8)$$

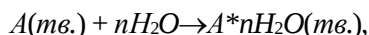
Об'єднаємо рівняння (5) і (8):

$$r_0^2 = (1-(1-X)^{1/3})^2 = 2V_m C_0 k_1 \ln t. \quad (9)$$

Для спрощення виразу добуток постійних величини позначимо константою k і отримаємо рівняння Крюгера-Циглера:

$$k \ln t = (1-(1-X)^{1/3})^2. \quad (10)$$

Правомірність використання моделі Крюгера-Циглера для опису процесу клейстеризації крохмалю можна продемонструвати схемою для стадії гідратації крохмалю:



де $A(mв.)$ — амілоза в гранулі крохмалю в аморфному або кристалічному стані; $A^*nH_2O(mв.)$ — гідратована амілоза в гранулі крохмалю (водневі зв'язки між макромолекулами амілози, зруйновані й утворені нові зв'язки за участю молекул води).

Очевидно, можна вважати, що стадія гідратації амілози характеризується змінним коефіцієнтом дифузії молекул води через шар продукту $A^*nH_2O(mв.)$ унас-

лідок зміни конформаційної структури полімеру при руйнуванні міжмолекулярних зв'язків в об'ємі крохмальних гранул.

Отже, принципова відмінність моделі Крюгера-Циглера від інших моделей гетерогенних хімічних процесів полягає в тому, що коефіцієнт дифузії частинок, що переносяться, розглядається не постійною, а змінною величиною, яка обернено пропорційна часу. Стосовно процесу вилучення амілози, коли не йдеться про хімічну реакцію між реагентами, що знаходяться в розчині і в твердій фазі крохмальних гранул, використання моделей гетерогенних хімічних процесів може представлятися сумнівним. Однак, якщо врахувати, що вилучення амілози неможливе без попередньої гідратації її макромолекул (так званої стадії набухання гранули), то модель гетерогенної реакції можна застосувати і до крохмальних гранул: молекули води з рідкої фази дифундують усередину твердих гранул, а утворення або руйнування водневих зв'язків за участю молекул води може бути аналогом хімічної взаємодії між водою та амілозою. Оскільки гідратація зовнішніх шарів крохмальних гранул змінює архітектуру їх міжмолекулярних зв'язків, то непостійність коефіцієнта дифузії молекул води як реагенту в цій моделі цілком зрозуміла. Припущення Крюгера і Циглера, що коефіцієнт дифузії може бути обернено пропорційним часу, в цьому випадку добре виконується: чим більший час гідратації, тим товщий шар гідратованих макромолекул і тим менший коефіцієнт дифузії.

Тангенси кутів нахилу отриманих прямих у координатах рівняння Крюгера і Циглера дали змогу визначити константи швидкості, які були використані для побудови графіків у координатах рівняння Ареніуса та розрахунку уявних енергій активації досліджуваного процесу (рис. 5). Встановлено, що в координатах $\ln k - 1/T$ залежність константи швидкості процесу клейстеризації від температури має форму опуклої кривої, яка добре відома в теорії гетерогенних хімічних процесів і свідчить про залежність енергії активації від температури реалізації процесу: за відносно низьких температур процес відбувається в кінетичному режимі з лімітуючою стадією хімічної реакції на межі розділу фаз, а за відносно високих температур процес переходить у дифузійний режим, тому що швидкість хімічної реакції зі зростанням температури різко збільшується і лімітуючою стадією процесу стає процес дифузії реагентів (або продуктів реакції).

Розрахунки за даними рис. 5 показали, що в інтервалі 60—70 °C уявна енергія активації процесу клейстеризації становить 191,3 кДж/моль, а при температурі 80—90 °C зменшується до 22,2 кДж/моль. Ці значення E_a добре підтверджують відомі літературні дані для різних видів крохмалів. Наприклад, за даними (Spigno, & De Faveri, 2004) значення E_a при $t < 79,5^\circ\text{C}$ становлять 144—230 кДж/моль, при $t > 79,5^\circ\text{C}$ — зменшуються до 14—30 кДж/моль. У цій та багатьох інших працях залежності $\ln k - 1/T$ апроксимували двома прямими, а їх перетин розглядали як якусь характеристичну точку процесу клейстеризації. Однак ця точка не є точкою «зламу» на кривій у координатах рівняння Ареніуса, оскільки перехід від кінетичного режиму до дифузійного відбувається не стрибкоподібно, а плавно через перехідний режим хімічного процесу.

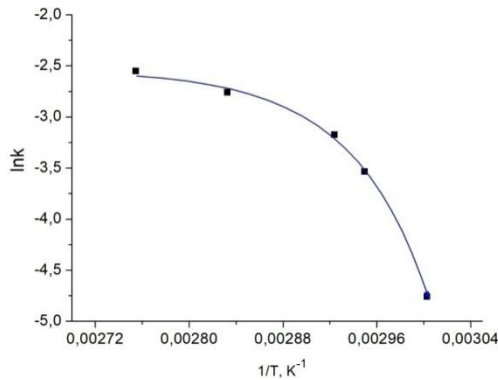


Рис. 5. Зіставлення констант швидкості процесу клейстеризації картопляного крохмалю за різних температур у координатах рівняння Ареніуса

Очевидно, що основною проблемою в поясненні ефекту залежності енергії активації процесу клейстеризації від температури є високі значення E_a при низьких температурах. Якщо значення енергії активації на рівні 22 кДж/моль без жодних сумнівів можна віднести до процесу дифузії, то величини E_a порядку 200 кДж/моль можуть бути зрозумілими тільки за умови, що вони характеризують хімічну взаємодію.

На нашу думку, вихід із цього парадоксу можливий за допомогою уявлення про численні водневі зв'язки між макромолекулами амілози. Якщо для розриву одного водневого зв'язку, наприклад, в димері води потрібна енергія порядку 21 кДж/моль, то для десятка таких зв'язків між ОН-групами макромолекул амілози енергія розриву повинна бути на рівні 210 кДж/моль. Оскільки водневі зв'язки відіграють головну роль в кристалізації амілози й амілопектину, слід зробити висновок, що вони мають відігравати головну роль і в руйнуванні крохмальних гранул у процесі клейстеризації.

Розраховані значення енергій активації показують, що процес клейстеризації спочатку триває у кінетичному режимі, тому його інтенсифікація можлива за рахунок збільшення константи швидкості процесу руйнування міжмолекулярних водневих зв'язків. Очевидний спосіб підвищення константи швидкості — це підвищення температури та використання каталізатора. Проте вже після 70 °C процес клейстеризації починає переходити в дифузійний режим. Інтенсифікація процесу в дифузійному режимі можлива при подрібненні крохмалевих гранул і збільшенні швидкості перемішування крохмальної суспензії.

Висновки

Встановлено, що залежності ступеня вилучення амілози від часу проведення процесу клейстеризації картопляного крохмалю лінеаризуються в координатах рівняння Крюгера-Циглера. Визначення енергій активації в ареніусовських координатах показало, що в інтервалі 60—70 °C уявна енергія активації процесу клейстеризації становить 191,3 кДж/моль, а при температурі 80—90 °C зменшується до 22,2 кДж/моль. Передбачається, що за відносно низьких температур процес клейстеризації відбувається в кінетичному режимі з лімітуючою стадією хімічної

реакції на межі розділу фаз, а за відносно високих температур цей процес переходить в область дифузійних обмежень. Під хімічною реакцією пропонується розглядати взаємодію води з амілозою за рахунок водневих зв'язків.

Запропоновано інтенсифікувати процес клейстеризації картопляного крохмалю шляхом підвищення температури й використання каталізатора при реалізації процесу за температур нижче 70 °C та шляхом попереднього подрібнення крохмалевих гранул і збільшення швидкості перемішування крохмальної суспензії при проведенні процесу в області високих температур.

Література

Amagliani, L., O'Regan, J., Kelly, A. L., O'Mahony, J. A. (2016). Chemistry, structure, functionality and applications of rice starch. *Journal of Cereal Science*, 70, 291—300. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.06.014>.

Apriyanto, A., Compart, J., Fettke, J. (2022). A review of starch, a unique biopolymer — Structure, metabolism and in planta modifications. *Plant Science*, 318, 111223. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2022.111223>.

Bakshi, A. S., & Singh, R. P. (1980). Kinetics of Water diffusion and starch gelatinization during rice parboiling. *Journal of Food Science*, 45, 1387—1391. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1980.tb06561.x>.

Calzetta Resio, A., & Suarez, C. (2001). Gelatinization kinetics of amaranth starch. *International Journal of Food Science and Technology*, 36, 441—448. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2001.00478.x>.

Chavan, P., Sinhmar, A., Nehra, M., Thory, R., Pathera, A. K., Sundarraj, A. A., Nain, V. (2021). Impact on various properties of native starch after synthesis of starch nanoparticles: A review. *Food Chemistry*, 364, 130416. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130416>.

Donmez, Dila, Pinho, Lorena, Patel, Bhavesh, Desam, Prasuna, Campanella, Osvaldo H. (2021). Characterization of starch-water interactions and their effects on two key functional properties: starch gelatinization and retrogradation. *Food physics and materials science*, 39, 103—109. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.12.018>.

Kaur, P., Kaur, K., Basha, S. J., Kennedy, J. F. (2022). Current trends in the preparation, characterization and applications of oat starch — A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 212, 172—181. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.05.117>.

Kubota, K., Hosokawa, Y., Suzuki, K., Hosaka, H. (1979). Studies on the gelatinization rate of rice and potato starches. *Journal of Food Science*, 44, 1394—1397. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1979.tb06446.x>.

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

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

Ojeda, C. A., Tolaba, M. P., & Suarez, C. (2000). Modeling starch gelatinization kinetics of milled rice flour. *Cereal Chemistry*, 77(2), 145—147. https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/collection/paper/document/paper_00090352_v77_n2_p145_Ojeda.

Okechukwu, P. E., Rao, M. A. (1996). Kinetics of cowpea starch gelatinization based on granule swelling. *Starch*, 48, 43—47. <https://doi.org/10.1002/star.19960480203>.

Shiotsubo, T. (1983). Starch gelatinization at different temperatures as measured by enzymatic digestion method. *Agricultural Biology and Chemistry*, 47, 2421—2425. <https://doi.org/10.1080/00021369.1983.10865974>.

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

Stefano, Renzetti, Irene A. F. van den Hoek, Ruud, G. M. van der Sman. (2021). Mechanisms controlling wheat starch gelatinization and pasting behaviour in presence of sugars and sugar replacers: Role of hydrogen bonding and plasticizer molar volume. *Food Hydrocolloids*, 119, 106880. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106880>.

Suzuki, K., Kubota, K., Omich, M., Hosaka, H. (1976). Kinetic studies on cooking of rice. *Journal of Food Science*, 41, 1180—1185. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1976.tb14412.x>.

Turhan, M., & Gunasekaran, S. (2002). Kinetics of in situ and in vitro gelatinization of hard and soft wheat starches during cooking in water. *Journal of Food Engineering*, 52(1), 1—7. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00058-9](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00058-9).

Yeh, A. I., & Li, J. Y. (1996). Kinetics of phase transition of native, cross-linked and hydroxipropilated rice starches. *Starch/Starke*, 48, 17—21. <https://doi.org/10.1002/star.19960480106>.

Zhou, Z., Robards, K., Helliwell, S., Blanchard, C. (2010). Effect of storage temperature on rice thermal properties. *Food Research International*, 43, 709—715. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.11.002>.

ДО ВІДОМА АВТОРІВ

Шановні колеги!

Редакційна колегія журналу «Наукові праці Національного університету харчових технологій» запрошує вас до публікації наукових праць (<http://sw.nuft.edu.ua>).

До друку приймаються рукописи, які раніше не були опубліковані в друкованих та електронних виданнях. Автор, який подає матеріали до друку, зберігає за собою всі авторські права та надає відповідному виданню право першої публікації, дозволяючи розповсюджувати матеріал із зазначенням авторства й джерела первинної публікації, а також погоджується на розміщення її електронної версії на сайті Національної бібліотеки ім. В. І. Вернадського та у відкритому доступі в електронній мережі університету. Автор надає право редакційній колегії на рецензування та відхилення поданих для опублікування матеріалів. В одному номері може бути видана лише одна стаття автора (як власна, так і в співавторстві).

На електронну адресу журналу (prnuht@ukr.net) необхідно надіслати такі документи:

- файл статті;
- рецензію доктора наук певної галузі (за тематичною спрямованістю статті). Якщо один із авторів статті є доктором наук, то рецензія не обов'язкова;
- заяву з підписами автора(-ів) про те, що надіслана стаття раніше не друкувалася і не подана до будь-яких інших видань.

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

Статті подаються у вигляді вичитаних роздруківок на папері формату А4 (поля з усіх сторін по 2 см, Time New Roman, кегль 14, інтервал 1,5) та електронної версії (редактор Microsoft Word). У тексті статті не повинно бути порожніх рядків. Між словами допускається лише один пробіл. Усі сторінки тексту мають бути пронумеровані.

Обсяг дослідницької статті має бути не менше 10 сторінок (без урахування анотацій та списку використаних джерел). У дослідницькій статті має бути проаналізовано не менше 15 джерел. Обсяг оглядової статті має бути не менше 25 сторінок (без урахування анотацій та списку використаних джерел). В оглядовій статті повинно бути проаналізовано не менше 40 джерел.

ПОСЛІДОВНІСТЬ СТРУКТУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СТАТТІ

1. Індекс УДК.
2. Назва статті (англійською та українською мовами).
3. Ініціали та прізвища авторів англійською та українською мовами.
4. Анотація англійською та українською мовами (не менше 1800 символів з пробілами). Анотація має бути максимально інформативною, це окремий текстовий документ, у якому лаконічно викладені результати дослідження. У тексті анотації не варто використовувати загальні фрази, вказувати несуттєві деталі й загальновідомі положення. Також слід уникати прямих повторів будь-яких фрагментів статті.
5. Ключові слова (5—6 слів/ключових словосполучень англійською та українською мовами).
6. Структура текстової частини:
 - постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з важливими практичними завданнями;
 - аналіз останніх досліджень і публікацій, на які спирається автор;
 - формулювання мети статті;
 - викладення основних результатів дослідження;
 - висновки і перспективи подальших наукових досліджень.
7. Після тексту статті в алфавітному порядку наводиться список літературних. **Бібліографічні описи оформляються згідно з міжнародним стилем АРА.** Бібліографічний опис подається мовою видання. Не допускається посилання на неопубліковані матеріали. У переліку джерел мають переважати посилання на наукові праці останніх років. Наприкінці кожної публікації наводиться ідентифікатор DOI у форматі <https://doi.org/.....>, якщо він є, або посилання на публікацію. Також слід обмежити посилання на власні публікації, оскільки це знижує наукову цінність статті та індекс цитування автора. Не можна посилатись на національні стандарти, технічні умови, підручники, конспекти лекцій, лабораторні практикуми та іншу ненаукову літературу. Посилання на патенти слід робити в тексті статті, вказавши лише номер та назву патенту.

У статті мають бути проаналізовані напрацювання вчених з усього світу. На основі аналізу сучасних статей з англomовних журналів має бути доведена актуальність теми у світі, визначені питання, які потребують вирішення, сформульована мета дослідження.

8. Таблиці (у Word або Excel) можна подавати як у тексті, так і в окремих файлах (на окремих сторінках). Кожна таблиця повинна мати тематичний заголовок, набраний напівжирним шрифтом, і порядковий номер (без знака №), якщо таблиць кілька. Слово «Таблиця» і номер друкуються курсивом, заголовок — напівжирним шрифтом. Таблиці повинні мати книжковий формат і вільно вміщатися у висоту і ширину журнальної сторінки.

9. Ілюстрації (креслення, рисунки, схеми, діаграми) мають бути розміщені в тексті. **Обов'язковою вимогою** є надсилання оригінальних файлів рисунків, створених у програмах-редакторах Corel Draw X6, Origin. Всі елементи рисунка (типи, товщина і колір ліній, шрифт текстів тощо) мають вільно редагуватися у наявному програмному забезпеченні). Рисунки в растрових форматах (bmp, gif, jpeg, tif) або у форматі pdf не приймаються до розгляду, оскільки не можуть вільно редагуватися. **Вимоги до оформлення рисунків:** вісь координат — 0,2 мм, без сітки, сам рисунок (наприклад, крива) — 0,35 мм, текст в рисунку — Times New Roman 9,5, ширина рисунка — до 13 см. Всі рисунки мають бути чорно-білими. Підписи до рисунків набираються безпосередньо під рисунками прямим напівжирним шрифтом.

Фотографії мають бути чіткими та контрастними (формати TIF, JPG з роздільною здатністю 300 dpi), розмірами 6×9. Фотографії друкуються в разі крайньої потреби, якщо наведена на них інформація має значну наукову цінність. Авторам краще завантажити фотографії у хмарний сервіс і в списку літератури дати на них посилання.

10. Математичні формули повинні бути роздруковані з правильним виділенням верхніх і нижніх індексів. Нумерація формул здійснюється арабськими цифрами у круглих дужках біля правого поля сторінки. Індеси від скорочених українських слів друкуються прямим шрифтом малими літерами. В індексах, що складаються з двох скорочених слів, після першого скороченого слова ставиться крапка, після другого — крапка не ставиться. Цифри в індексах також друкуються прямим шрифтом. Індеси, позначені латинськими літерами, друкуються курсивом. У формулах літери латинського алфавіту набираються курсивом, грецького й українського — прямим шрифтом.

Хімічні формули набираються прямим шрифтом. Математичні символи, що входять до складу хімічних формул, — курсивом.

Формули вставляються безпосередньо в текст. Прості формули набираються з клавіатури, а складні — за допомогою редактора формул Microsoft Equation 3.0 object або Math Type 5.6. Інші версії редакторів формул є неприйнятними. Символи вставляються тільки через таблицю символів. Скорочення позначень одиниць фізичних величин мають відповідати Міжнародній системі одиниць (SI).

11. Відомості про авторів статті повинні бути наведені за єдиним зразком у вказаному порядку: прізвище (прописними літерами), ім'я та ім'я по батькові (повністю); наукове звання; посада чи професія, місце роботи; телефон, E-mail.

12. Дата надходження статті до редакції (після тексту надрукованого матеріалу).

Використання автоматичного перекладу наукового тексту (статті, анотації, ключових слів) **не допускається**. Переклад має бути належної якості.

Відсутність будь-якого з пунктів переліку, зазначеного вище, рецензії, невідповідність вимогам до оформлення, наявність орфографічних, граматичних, стилістичних помилок, автоматичний переклад елементів матеріалу є підставою для **відмови** в прийнятті статті до друку.

Автор несе відповідальність за додержання вимог чинного законодавства при підготовці матеріалів, у тому числі норм авторського права і достовірність наведених фактичних даних (цитат, посилань, імен, назв тощо).

Адреса редакції:

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

Контактні телефони: міський — (044) 287-92-95, внутрішній — 92-95.
E-mail: npnuht@ukr.net

SUBMISSION GUIDELINES

Dear colleagues,

The editorial board of the Journal “Scientific works of the National University of Food Technologies” invites you to the publication of your manuscripts (<http://sw.nuft.edu.ua>).

Only the manuscripts that have not previously been published in print and electronic media are accepted. The author who submits materials for publication reserves the copyright and provides the right of first publication to the Journal, allows to distribute the manuscript indicating the authorship and the primary source of publication and agrees to placing the electronic version of the manuscript on the website of the V. I. Vernadsky National Library of Ukraine, publicly available electronic network of the University. The author gives the right to the editorial board to review and reject the material submitted for publication. The author can publish one manuscript (of his/her single authorship or co-authored) per every issue of the Journal.

The following documents are necessary to be sent to the e-mail address of the journal (npnuht@ukr.net):

- Electronic version of the manuscript;
- A review of the manuscript by a doctorate of the corresponding branch of science. If one of the authors is a doctorate him/herself, then a review is not necessary;
- A statement signed by the author(s) that the manuscript has not been published and is not submitted for publication.

REQUIREMENTS FOR MANUSCRIPTS

The electronic version should be submitted in a Microsoft Word document (margins of 2 cm, Time New Roman, type size 14, spacing 1.5). There should be no blank lines in the manuscript. No extra spaces are allowed between the words. All pages of the manuscript should be numbered.

The number of pages of the research article should be at least 10 (excluding abstracts and references). At least 15 references should be analyzed in the research paper. The length of the review article should be at least 25 pages (excluding abstracts and references). At least 40 references should be analyzed in the review article.

The use of automatic translation for any part of your text (manuscript, abstract, keywords) is not allowed. Translation must be of good quality.

The editors reserve the right to edit the manuscript scientifically and literary.

SEQUENCE OF STRUCTURAL ELEMENTS OF THE MANUSCRIPT

1. UDC index.
2. The title of the manuscript (in English, Ukrainian).
3. Full names of the authors in English, Ukrainian (not more than four authors).
4. An abstract in English, Ukrainian (not less than 1800 characters with spaces). The abstract should be highly informative, it is a separate text document in which the results of the research must be summarized. General phrases, insignificant details and well-known provisions shouldn't be written in the abstract. Direct repetitions of any parts of the article should be also avoided.
5. A list of keywords (5—6 words or key phrases in English, Ukrainian).
6. The structure of the text:
 - Problem definition and its relationship with important practical tasks;
 - Analysis of recent studies and publications related to subject matter of the manuscript;
 - Problem statement (statement of purpose of the manuscript);
 - Presentation of the main material;
 - Conclusions and recommendations for further research.
7. A list of references of their quotation should be presented after the text of the manuscript.

Bibliographic descriptions should be made according to international style APA. Bibliographic descriptions should be submitted in the language of their edition. Links to unpublished materials are not allowed. The list of references should contain links only to recent and relevant studies. At the end of each reference, the DOI identifier is provided in the format <https://doi.org/>, if it is, or a link to the publication. National standards, specifications, textbooks, lecture notes, laboratory workshops and other non-scientific literature must not be referenced. References to patents should be made in the text

of the article, indicating only the number and title of the patent. In the list of references, the sources should be presented in alphabetical order.

The investigations of scientists from all over the world should be analyzed in the article. Based on the analysis of modern articles from English-language journals, the relevance of the topic in the world should be proved, the issues which need to be solved should be identified, and the purpose of the research should be formulated.

8. Tables (in Word and Excel) can be submitted both in the text of the manuscript and in separate files (on separate pages). Each table should have a title, typed in bold, and its serial number if there are several tables. The word “Table” and number are printed in italics; the title is printed in bold. Tables should be in book format and fit freely in the height and width of the journal page.

9. Figures, images and tables should be performed in Corel Draw, Origin on white paper and placed both in the text and in separate files. Captions should be typed in bold directly under the figures. Images must be clear and contrasting (TIF, JPG with a resolution of 300 dpi); the size 6×9. Photos are printed in case of extreme necessity, if they provide information of the significant scientific value.

10. Mathematical formulas should be typed with the correct placing of upper and lower indices. The formulas should be numbered by Arabic numerals in parentheses at the right margin of the page. The indices of Ukrainian abbreviated words should be typed in bold and in lower case. The first word of an index, consisting of two abbreviated words, should be followed by a dot, and the second word has no dot. The numbers in the indexes are typed in upright font. Indexes should be typed in Latin letters and in italics. In formulas, the letters of Latin alphabet are typed in italics; Greek and Ukrainian letters are in upright font.

Chemical formulas should be typed in upright font. Mathematical symbols that make up the chemical formulas should be typed in italics.

Formulas should be put directly into the text. Simple formulas are typed from the keyboard, and complex — using the Microsoft Equation 3.0 object or MathType 5.6. Other equation editors are unacceptable. The characters are inserted only through the symbol table. The contraction of physical units must comply with the rules of the International System of Units (SI).

11. Information about the authors should be given as follows: second name (in uppercase letters), first name and patronymic (in full); academic title; position or profession, place of work; phone number, E-mail.

12. The date when the manuscript was received by the editorial board.

The use of **automatic translation** for any part of your text (manuscript, abstract, keywords) **is not allowed**. Translation must be of good quality.

The absence of any item listed above; absence of abstracts; non-compliance to the design requirements; spelling, grammatical, stylistic errors; automatic translation of any part of the manuscript are the grounds **for refusal** to accept the manuscript for publication.

The author is fully responsible for compliance with current legislation, including the rules of copyright and the consistency of data (quotations, references, names, etc.).

Editorial office address:

National University of Food Technologies
Volodymyrska str., 68,
building B,
room 412
01601 Kyiv,
Ukraine
E-mail: npnuht@ukr.net