



2022

НАУКОВІ ПРАЦІ

НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Том 28 № 4

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

КИЇВ ♦ НУХТ ♦ 2022

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.
Meeting # 1 from September 7, 2022

© NUFT, 2022

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 № 1 від 07 вересня 2022 року

© НУХТ, 2022

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 Гєдре Райшене

Agota Giedre Raisiene

д-р екон. наук, Литва

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

Атанаска Тенєва

Atanaska Teneva

д-р екон. наук, доц., Болгарія

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

Анатолій Зайнчковський

Anatoly Zainchkovskiy

д-р екон. наук, проф., Україна

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

Анатолій Ладанюк

Anatoly Ladanyuk

д-р техн. наук, проф., Україна

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

Андрій Маринін

Andrii Marynin

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

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

Браян Мак Кенна

Brian McKenna

д-р техн. наук, проф., Ірландія

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

Валерій Мирончук

Valerii Myronchuk

д-р техн. наук, проф., Україна

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

Василь Кишенько

Vasyl Kyshenko

канд. техн. наук, проф., Україна

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

Василь Пасічний

Vasyl Pasichnyi

д-р техн. наук, проф., Україна

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

В'ячеслав Івашук

Vyacheslav Ivaschuk

д-р техн. наук, проф., Україна

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

Віктор Стабніков

Viktor Stabnikov

д-р техн. наук, проф., Україна

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

Володимир Зав'ялов

Volodymyr Zavialov

д-р техн. наук, проф., Україна

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

Галина Колісник

Halyna Kolisnyk

д-р екон. наук, проф., Україна

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

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

ЗМІСТ

Автоматизація та інформаційні технології

Поліщук Д. В., Заєць Н. А. Система керування інформаційними потоками теплично-го комплексу на основі сценарно-синергетичного підходу

Біотехнології

Підгурська Т.О., Карлаш Ю. В. Сидерофори як нова альтернатива антимікробним засобам

Пирог Т. П., Іванов М. С. Вплив біологічних індукторів на антиадгезивну активність поверхнево-активних речовин *Acinetobacter calcoaceticus* IMV B-7241

Зомчак В. В., Грегірчак Н. М. Біотехнологія мікробних полісахаридів, продуценти, використання, техніко-економічне обґрунтування виробництва ксантану

Механічна та електрична інженерія

Малецька К. Д., Турчина Т. Я., Авдеєва Л. Ю., Макаренко А.А. Інноваційна теплотехнологія виробництва сухої форми білково-фруктових композицій методом розпилювального сушіння

Грінінг К. Р., Десик М. Г. Зміна гранулометричного складу суспензій лікарських і косметичних засобів під час оброблення у бісерному млині

Харчові технології

Сімахіна Г. О. Динаміка процесу кристалотворення та промислове заморожування плодово-ягідної сировини

Тарасюк Л. А., Олійник С. І., Карпутіна М. В. Сучасна технологія фільтрування природними модифікованими матеріалами для підвищення якості лікєро-горілчаної продукції

Василишин О. В. Вплив полісахаридних композицій на інтенсивність дихання та якість плодів вишні протягом зберігання

Романовська Т. І., Осейко М. І., Романовський Н. О. Фізичні аспекти утворення олійних гелів

Смірнова А. В., Кириленко Р. Г. Енергетична ідентифікація структур іонних систем на відповідність заданим технічним умовам

CONTENTS

Automation and information technologies

Polishchuk D., Zaiets N. Information flow management system of the greenhouse complex based on the scenario-synergetic approach

Biotechnologies

Pidgerskaya T., Karlash Yu. Siderophores as a new alternative to antimicrobial agents

Pirog T., Ivanov M. Influence of biologicals inducers on the anti-adhesive activity of *Acinetobacter calcoaceticus* IMV B-7241

Zomchak V., Hrehirchak N. Biotechnology of microbial polysaccharides, producers, use, technical and economic justification of xanthan production

Mechanical and Electrical Engineering

Maletska K., Turchyna T., Avdeieva L., Makarenko A. Innovative technology of production dry forms of protein-fruit compositions using spray drying method

Hrininh K., Desyk M. Change in granulometrical composition of suspensions of medicinal and cosmetic products during processing in a bead mill

Food Technologies

Simakhina G. Dynamics of crystallization process and the industrial freezing of raw fruit and berries

Tarasiuk L., Oliinyk S., Karputina M. Modern filtration technologies with natural modified materials to improve the quality of alcoholic products

Vasylyshyna O. The influence polysaccharide composition on the intensity of respiration and the quality of cherry fruits during storage

Romanovska T., Oseiko M., Romanovskiy N. Physical aspects of formation of oil gels

Smirnova A., Kyrilenko R. Energy identification of the structures of ionic systems in accordance with the specified technical conditions

- Дричик М. Ю., Шульга О. С.* Розроблення системи простежуваності під час виробництва макаронних виробів 139 *Drychuk M., Shulga O.* Development of the traceability system for the pasta production
- Точкова О. В., Баклан І. О., Бессараб О. С.* Вплив ксантану на структурно-в'язкісні характеристики плодово-овочевого пюре 147 *Tochkova O., Baklan I., Bessarab O.* The influence of xanthan on the structural and viscous characteristics of fruit and vegetable puree

Новини освіти і науки

- Доробок українських науковців від видавництва CRC Press 163

INFORMATION FLOW MANAGEMENT SYSTEM OF THE GREENHOUSE COMPLEX BASED ON THE SCENARIO-SYNERGETIC APPROACH

D. Polishchuk

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

N. Zaiets

National University of Food Technologies

Key words:

Energy efficiency

Resource efficiency

Synergy

Industrial greenhouse

Intelligent control system

Article history:

Received 18.07.2022

Received in revised form
29.07.2022

Accepted 15.08.2022

Corresponding author:

N. Zaiets

E-mail:

z-n@ukr.net

ABSTRACT

A control system for the temperature and humidity regime in an industrial greenhouse, which is the main production component of the greenhouse complex based on a scenario-synergetic approach was developed. Based on the results of the analysis of statistical data regarding the conditions and energy consumption of temperature and humidity control, the non-linearity and non-stationarity of production processes in protected ground structures were established. Based on the results of the assessment of the production functioning of the greenhouse complex, the architecture of the temperature and humidity control system was created based on the scenario-synergetic approach. Correlations between the parameters are investigated and the assumption about the impossibility of a systematic and complex description of the relationships between the parameters of information flows is confirmed. As a consequence, the modeling and development of the concept of the functioning of the control system for the electrotechnological complex of the greenhouse was carried out using the mathematical apparatus of neural networks.

A neural network of the multilayer perceptron type was synthesized to predict the costs of electricity and natural gas in the greenhouse complex and its training was implemented. In the control system for the temperature and humidity regime in an industrial greenhouse, a method for assessing the structural efficiency of control systems with an analysis of the effect of synergy of technological parameters was used. It was established that the use of fuzzy neural networks for the formation of scenarios for managing the temperature and humidity regime provides the possibility of appropriate scenarios for making managerial decisions and their operational correction.

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИМИ ПОТОКАМИ ТЕПЛИЧНОГО КОМПЛЕКСУ НА ОСНОВІ СЦЕНАРНО-СИНЕРГЕТИЧНОГО ПІДХОДУ

Д. В. Поліщук

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Н. А. Засць

Національний університет харчових технологій

У статті розроблено систему керування температурно-вологісним режимом у промисловій теплиці, що є основною виробничою складовою тепличного комплексу на основі сценарно-синергетичного підходу. За результатами аналізу статистичних даних щодо умов та енергозатратності керування температурно-вологісним режимом встановлено нелінійність і нестационарність виробничих процесів у спорудах закритого ґрунту. За результатами оцінки виробничого функціонування тепличного комплексу створено архітектуру системи керування температурно-вологісним режимом на основі сценарно-синергетичного підходу. Досліджено кореляційні зв'язки між параметрами та підтверджено припущення щодо неможливості системного та комплексного опису взаємозв'язків між параметрами інформаційних потоків. Як наслідок, моделювання і розробку концепції функціонування системи керування електротехнологічним комплексом теплиці виконано з використанням математичного апарату нейронних мереж.

Синтезовано нейронну мережу типу багатошаровий персептрон для прогнозування витрат електроенергії й природного газу в тепличному комплексі та реалізовано її навчання. В системі керування температурно-вологісним режимом у промисловій теплиці використано методику оцінки структурної ефективності систем керування з аналізом ефекту синергії технологічних параметрів. Встановлено, що застосування нечітких нейронних мереж для формування сценаріїв керування температурно-вологісним режимом забезпечує можливість отримання відповідних сценаріїв прийняття управлінських рішень та їх оперативної корекції.

Ключові слова енергоефективність, ресурсоефективність, синергія, промислова теплиця, інтелектуальна система керування.

Постановка проблеми. Підвищення ефективності виробництва овочів закритого ґрунту є однією з важливих проблем розвитку аграрного сектору економіки України. Низька ефективність функціонування тепличних комбінатів пов'язана насамперед з ресурсоемістю технологій виробництва. У період ринкової трансформації в умовах вільного ціноутворення почалося швидке зростання цін на матеріальні й енергетичні ресурси, яке випереджало ріст цін на овочеву продукцію. У сукупності зазначене ускладнило функціонування підприємств, що вирощують овочі закритого ґрунту.

У процесі аграрної реформи в галузі загострилися проблеми, пов'язані із застосуванням застарілих технологій виробництва, недотриманням раціональних

розмірів тепличних комбінатів, недосконалою організацією праці, збутом продукції та строками її реалізації.

На сьогодні розвиток тепличних господарств суттєво сповільнився, що обумовлено високими цінами енергетичних складових (газ, електроенергія тощо) і технологічних матеріалів. Але якщо застосовувати у спорудах закритого ґрунту новітні технології, сучасне інженерне обладнання, то вирощування тепличних овочів перетвориться у рентабельне навіть за складних сучасних умов.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За результатами аналізу матеріалів (Lysenko, & Dudnyk, 2016) щодо функціонування систем керування в закритому ґрунті визначено, що для переважної більшості тепличних комбінатів майже 70% доходу від реалізації продукції витрачається на енергоресурси (електричну енергію, газ, дизельне паливо тощо), регулювання потоків яких здійснюється шляхом використання електротехнічних комплексів на основі стабілізаційних алгоритмів без прогнозування природних збурень, урахування станів рослин. Зрозуміло, що такі алгоритми керування не є енергоефективними.

При створенні енергоефективної системи керування біотехнічними об'єктами заслуговують на увагу інтелектуальні алгоритми керування енергетичними потоками. Результати попередніх досліджень (Dudnyk, Hachkovska, Zaiets, Lendiel, & Yakymenko, 2019; Лисенко, Заєць, Головінський, & Штепа, 2014; Болбот, 2020; Gao, 2017) підтвердили, що додаткова інформація щодо прогнозних значень температури навколишнього середовища, сонячної радіації, інформація про стани біологічної складової дає змогу створити базу знань та використати її для формування керуючих впливів на біотехнічні об'єкти з метою мінімізації енергоспоживання, забезпечуючи при цьому виробництво продукції потрібних обсягів та якості (Лисенко, Заєць, Головінський, & Штепа, 2014).

Однак алгоритм, який реалізують майже всі сучасні системи, залишається найпростішим — це стабілізація параметрів мікроклімату на рівні, що відповідає найвищій продуктивності біологічного об'єкта (Kaplun, Pavlov, & Shtepa, 2016).

Мета дослідження: розробити структуру автоматизованої системи управління технологічними процесами, що забезпечує автоматизований збір і обробку інформації для реалізації керуючих впливів з метою підвищення ефективності функціонування тепличного комплексу на основі сценарно-синергетичного підходу.

Матеріали і методи. Результати кореляційного аналізу технологічних параметрів, що були отримані в процесі експлуатації промислових теплиць ПРАТ «Комбінат "Тепличний"» смт Калинівка Броварського району Київської обл., вказують на наявність взаємовпливів між виробничими факторами із потенційною наявністю синергетичної (емерджентної) взаємодії між ними.

Викладення основних результатів дослідження. Структура системи керування інформаційними потоками тепличного комплексу побудована на основі сценарно-синергетичного підходу. Автоматизована система управління інформаційними потоками тепличного комплексу будується за принципами:

- ієрархічності структури системи;
- інтеграції інформаційних потоків різних рівнів автоматизованих систем управління в єдину систему.

При чому прогнозовані дані стосовно потенційних витрат електроенергії та

природного газу є вхідними для відповідних нечітких нейронних мереж, які створюють управлінські сценарії. На основі оцінки виробничого функціонування тепличного комплексу створено архітектуру системи керування температурно-вологісним режимом (рис. 1).

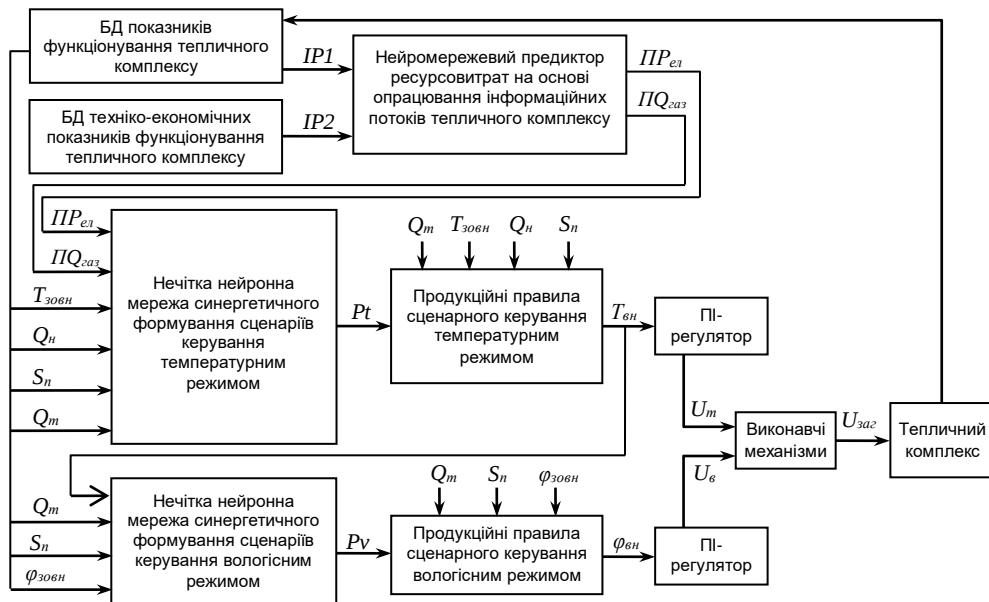


Рис. 1. Структура системи керування інформаційними потоками тепличного комплексу на основі сценарно-синергетичного підходу

Штатний режим роботи такої системи керування передбачає передачу технологічної інформації безпосередньо до "Продукційних правил сценарного керування", які реалізують нечіткий регулятор на основі алгоритму Сугено.

Кореляційні взаємозв'язки технологічних параметрів керування. Вибір математичного апарату для предиктора базувався на результатах аналізу кореляційних взаємозв'язків. Такі висновки підтверджені на основі оцінки на нелінійність і нестационарність повного набору значень параметрів у тепличному комплексі (рис. 2).

Оцінка таких результатів (табл. 1) ідентифікує лише три наступні сильні лінійні кореляційні взаємозв'язки (з усіх 169) для параметрів: витрати електроенергії та газу (коефіцієнт лінійної кореляції — 0,99); витрати газу та вартість газу (коефіцієнт лінійної кореляції — 1,00); вартість електроенергії та енерговитрати (коефіцієнт лінійної кореляції — 0,99).

Результати лінійного кореляційного аналізу підтвердили припущення щодо неможливості системного та комплексного опису взаємозв'язків між параметрами інформаційних потоків на основі його математичного апарату (див. таблицю).

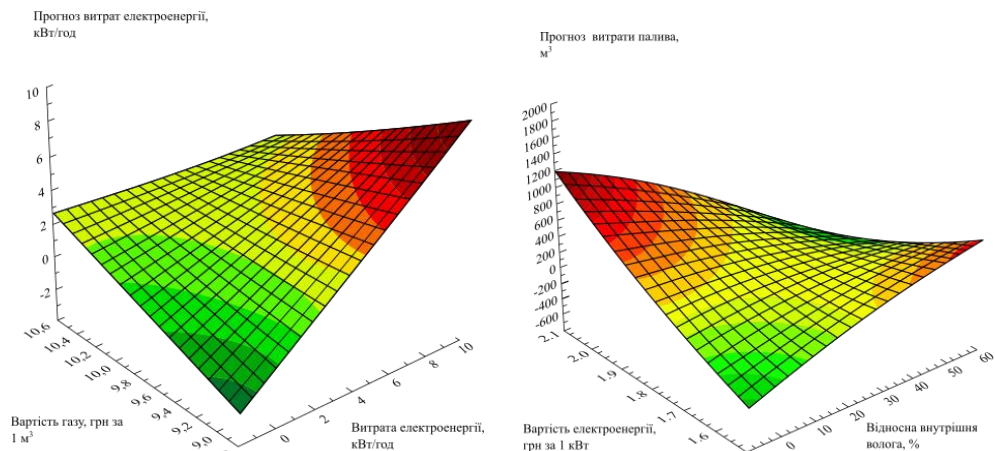


Рис. 2. Графічні залежності параметрів інформаційних потоків у тепличному комплексі

Таблиця. Кореляційні взаємозв'язки технологічних параметрів керування температурно-вологісним режимом у теплиці та збудень

Variable	Correlations (Інформ потоки) Marked correlations are significant at $p < ,05000$ N = 7090 (Casewise deletion of missing data)												
	Var1	Var2	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8	Var9	Var10	New Var1	New Var2	New Var3
Var1	1,00	0,37	0,20	0,17	0,17	-0,35	0,27	0,24	0,02	0,11	0,16	0,22	0,22
Var2	0,37	1,00	0,38	0,38	0,38	-0,22	0,41	0,11	-0,09	0,22	0,37	0,41	0,41
Var3	0,20	0,38	1,00	0,19	0,19	-0,17	0,28	-0,15	-0,11	0,16	0,18	0,22	0,22
Var4	0,17	0,38	0,19	1,00	0,99	-0,04	0,43	0,06	0,15	0,32	0,99	0,67	0,67
Var5	0,17	0,38	0,19	0,99	1,00	-0,03	0,42	0,05	0,06	0,32	1,00	0,67	0,67
Var6	-0,35	-0,22	-0,17	-0,04	-0,03	1,00	-0,17	-0,27	0,05	-0,12	-0,04	-0,05	-0,05
Var7	0,27	0,41	0,28	0,43	0,42	-0,17	1,00	0,21	-0,27	0,30	0,43	0,43	0,42
Var8	0,24	0,11	-0,15	0,06	0,05	-0,27	0,21	1,00	0,21	0,20	0,06	0,08	0,08
Var9	0,02	-0,09	-0,11	0,15	0,15	-0,11	0,23	0,18	1,00	0,06	0,20	0,15	0,15
Var10	0,11	0,22	0,16	0,32	0,32	-0,12	0,30	0,20	0,06	1,00	0,32	0,32	0,32
NewVar1	0,16	0,37	0,18	0,99	1,00	-0,04	0,43	0,06	0,20	0,32	1,00	0,66	0,67
NewVar2	0,22	0,41	0,22	0,67	0,67	-0,05	0,43	0,08	0,15	0,32	0,66	1,00	0,99
NewVar3	0,22	0,41	0,22	0,67	0,67	-0,05	0,42	0,08	0,15	0,32	0,67	0,99	1,00

Примітка: у таблиці символи Var1—NewVar3 відповідають змінним: PP_{er} — прогнозована потужність нагріву системи опалення; $PQ_{газ}$ — прогнозовані витрати газу; інформаційний потік $IP1$ у складі: температура контурів енергоносія, витрати електроенергії, витрати газу, реальна температура, вологість, CO_2 ; інформаційний потік $IP2$ у складі: вартість газу, вартість електроенергії, енерговитрати підприємства; збурення у вигляді зовнішніх температури та вологості.

Помірні лінійні кореляційні зв'язки мають лише 8 параметрів, решта коефіцієнтів лінійної кореляції вказують або на відсутність такої кореляції (абсолютна

більшість), або на слабкий їхній характер. Тобто математичний апарат нейронних мереж цілком доцільно використовувати для подальших досліджень.

Синтез системи керування інформаційними потоками тепличного комплексу на основі сценарно-синергетичного алгоритму. Для синтезу блоку прогнозування енерговитрат тепличного комплексу вибрано однокроковий предиктор, який отримує інформацію про поточні стани об'єкта ($x_{k-1}^{об}$ і $x_k^{об}$) від самого об'єкта (Δ — часова затримка сигналу на один такт). Тому похибка у прогнозі виникає тільки в межах поточного кроку, не накопичуючись від кроку до кроку (Гіль, Пашковський, & Суліма, 2008; Дудник, Заєць, Лендел, Гачковська, & Якименко, 2020). Це забезпечує більш точне передбачення порівняно з короткостроковим предиктором.

Як базову НМ застосуємо широкоживану архітектуру багат шарового перцептрона. На його n входів поступають входні сигнали, що проходять по синапсах, створюючи єдиний шар цієї мережі і видаючи вихідні сигнали:

$$y_j = f\left(\sum_{i=1}^n x_i w_{ij}\right), j=1, \dots, 3. \quad (1)$$

Очевидно, що всі вагові коефіцієнти синапсів одного шару нейронів можна звести в матрицю W , в якій кожний елемент W_{ij} задає величину i -му синаптичному зв'язку j -го нейрона.

Процес, що відбувається в такій нейронній мережі, може бути записаний у матричній формі:

$$Y = f(XW), \quad (2)$$

де X і Y — відповідно, входний і вихідний сигнальні вектори (тут і далі під вектором розуміється вектор-рядок); $f(S)$ — активаційна функція, вживана до компонентів вектора S .

Доречно відзначити важливу роль нелінійності активаційної функції перцептрона. Якби він не володів цими якостями, результат функціонування будь-якої Q -шарової нейронної мережі з ваговими матрицями $W^{(q)}$ для кожного шару $q = 1, \dots, Q$ зводився б до перемножування входного вектора сигналів X на матрицю:

$$W_{(\Sigma)} = W^{(1)} \dots W^{(q)} \dots W^{(Q)}. \quad (3)$$

Фактично, така Q -шарова нейронна мережа еквівалентна мережі з одним прихованим шаром і з ваговою матрицею єдиного шару $W_{(\Sigma)}$:

$$Y = XW_{(\Sigma)}. \quad (4)$$

Робота перцептрона зводиться до класифікації (узагальнення) входних сигналів, що належать n -мірному гіперпростору, за певним числом класів. Із математичної точки зору це відбувається шляхом розбиття гіперпростору гіперплощинами.

Для випадку одношарового перцептрона:

$$\sum_{i=1}^n x_i w_{ij} = \theta_j, j=1, 2, \dots, m. \quad (5)$$

Завдяки використанню пакета нейромережевого моделювання, інтегрованого

в середовище "Statistica", було реалізовано навчання багатошарового перцептрона прогнозування витрат електроенергії та природного газу в тепличному комплексі (рис. 3, 4).

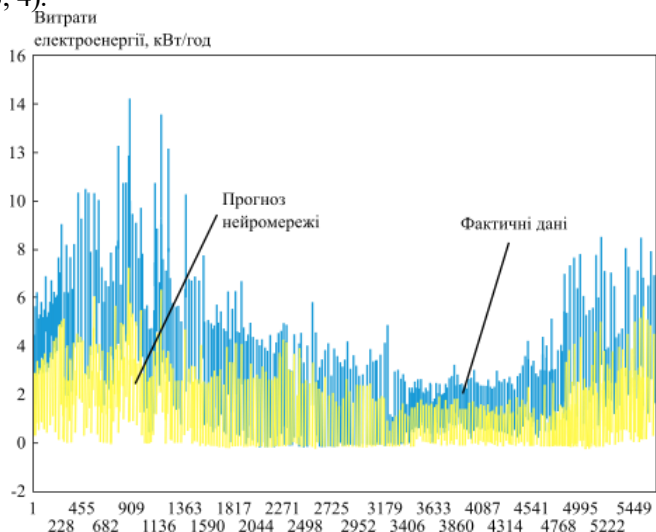


Рис. 3. Візуалізація навчання нейромережі за каналом прогнозування витрат електроенергії

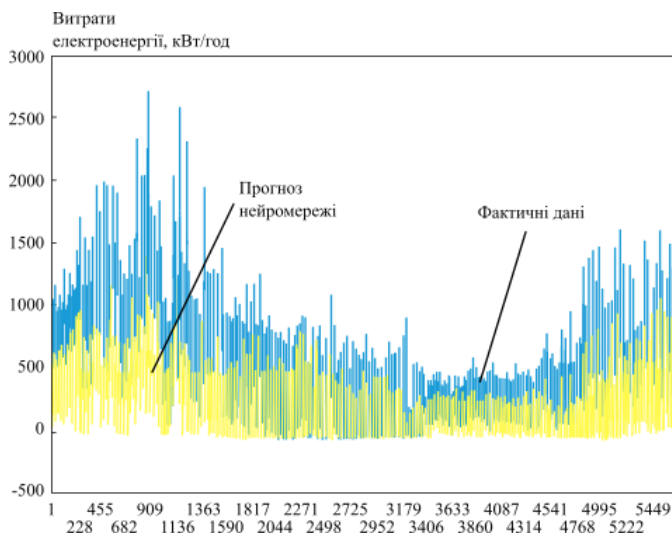


Рис. 4. Візуалізація навчання нейромережі за каналом прогнозування витрат природного газу

У результаті навчання були отримані прийнятні результати (середньоквадратичне відхилення за навчальною вибіркою — 0,7565 у.о., за тестовою — 0,7567 у.о.) із відсутністю перенавчання мережі. При цьому синтезували багатошаровий перцептрон із одним прихованим шаром місткістю 9 нейронів. Також візуально підтверджено нелінійність впливу інформаційних потоків на енерговитрати за обома прогнозованими каналами.

Отримані математичні викладки дають змогу створити обґрунтовану структуру методичного забезпечення щодо їх практико-орієнтованого використання на промислових об'єктах (рис. 5).

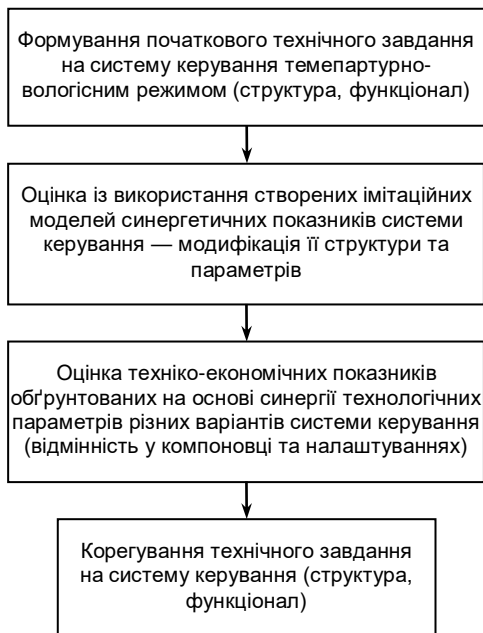


Рис. 5. Послідовність практичного використання синергетичного підходу для проєктування систем керування температурно-вологісним режимом у тепличному комплексі

Таким чином, сформовано весь комплекс алгоритмічно-математичного забезпечення системи керування інформаційними потоками тепличного комплексу на основі сценарно-синергетичного алгоритму. Наступним кроком буде його оцінка на відповідність технологічним вимогам шляхом, наприклад, імітаційного моделювання й аналізу із застосуванням методів математичної статистики.

Висновки

Розроблено структуру автоматизованої системи управління технологічними процесами, що забезпечує автоматизований збір і обробку інформації для реалізації керуючих впливів з метою підвищення ефективності функціонування тепличного комплексу на основі сценарно-синергетичного підходу. Відмінністю розробленої автоматизованої системи управління від існуючих є наявність у структурі системи нейромережевого предиктора ресурсовитрат на основі опрацювання інформаційних потоків тепличного комплексу, нечіткої нейронної мережі синергетичного формування сценаріїв керування та підсистеми формування продукційних правил сценарного керування.

Література

- Гіль, Л., Пашковський, А. & Суліма, Л. (2008). *Сучасні технології овочівництва закритого і відкритого ґрунту*. Вінниця: Нова Книга.
- Дудник, А., Заєць, Н., Лендел, Т., Гачковська М. & Якименко І. (2020). *Розроблення ресурсоефективних режимів вирощування овочевої продукції в тепличних комплексах*. Київ: Прінтеко.
- Dudnyk, A., Hachkovska, M., Zaiets, N., Lendiel, T. & Yakymenko, I. (2019). Managing a greenhouse complex using the synergetic approach and neural networks. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* this link is disabled. 4(2-100), 72—78 [in English].
- Dudnyk, A., Lysenko, V., Zaets, N., Komarchuk, D., Lendiel, T. & Yakymenko, I. (2019). Intelligent control system of biotechnological objects with fuzzy controller and noise filtration unit. *International Scientific-Practical Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology PIC S and T 2018, Proceedings*. 586—590. doi:10.1109/INFOCOMMST.2018.8632007 [in English].
- Лисенко, В. П., Заєць, Н.А., Головінський, Б.Л. & Штепа, В.М. (2014). *Природні збурення біотехнічних об'єктів, їх моделювання та прогнозування*. Київ: НУБіП України.
- Lysenko, V. & Dudnyk, A. (2016). *Automation of biotechnological objects*. International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications, and Computer Science. Lviv-Slavsko: Lviv Polytechnic National University.
- Болбот, І. М. (2020). *Автоматизація процесів керування тепличними комплексами з моніторингом якості продукції*. Київ: Біоресурси і природокористування.
- Дудник, А. О. (2014). *Автоматизоване керування процесом вирощування томатів у теплицях з прогнозуванням зовнішніх природних збурень*. (Дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.13.07). Національний університет харчових технологій, Київ.
- Лендел, Т. І. (2016). *Енергоефективне керування електротехнічним комплексом теплиці з урахуванням стану біологічного об'єкта*. Київ: Біоресурси і природокористування.
- Лисенко, В. П. & Головінський, Б. Л. (2005). *Метод оцінки ефективності роботи систем управління умовами утримання біологічних об'єктів для промислового виробництва сільсько-господарської продукції*. Київ: Аграрна наука та освіта.
- Лисенко, В. П., Решетюк, В. М., Штепа, В. М., Дудник, А. О., Лендел, Т. І. & Чернов, І. І. (2014). *Прогноз та оцінка доцільності застосування різних видів джерел енергії на тепличних комплексах*. Київ: Техніка та енергетика.
- Лисенко, В., Заєць, Н., Штепа, В. & Дудник А. (2011). *Нейромережеве прогнозування часових рядів температури навколишнього природного середовища*. Київ: Біоресурси і природокористування.
- Gao, Q., Zribi, M., Escorihuela, M. J. & Baghdadi, N. (2017). Synergetic use of sentinel-1 and sentinel-2 data for soil moisture mapping at 100 m resolution. *Sensors*, 17(9). doi:10.3390/s17091966..
- Prophet, S., Atman, J. & Trommer, G. F. (2017). A synergetic approach to indoor navigation and mapping for aerial reconnaissance and surveillance. *International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, IPIN 2017*. 1, 1—8. doi:10.1109/IPIN.2017.8115919.
- Kaplun, V. V., Pavlov, P. A. & Shtepa, V. N. (2016). *Asynchronous mode of functioning of the micro-energy system*. Kyiv: Technical Sciences.

SIDEROPHORES AS A NEW ALTERNATIVE TO ANTIMICROBIAL AGENTS

T. Pidgerskaya, Yu. Karlash

National University of Food Technologies

Key words:

Siderophores
Iron
Fungi
Bacteria
Antimicrobial properties

Article history:

Received 03.07.2022
Received in revised form
19.07.2022
Accepted 12.08.2022

Corresponding author:

T. Pidgerskaya
E-mail:
ssmile21@ukr.net

ABSTRACT

The search for new antimicrobial agents to suppress drug-resistant forms of microorganisms is relevant nowadays. Siderophores (Greek: "iron carrier") are small iron binding organic molecules with low molecular mass and different chemical structure. They are synthesized by bacteria and fungi and are important for their normal functioning, possess high antimicrobial activity and can be used to inhibit drug-resistant microbial pathogens.

Siderophores can be used for control of pathogens of many diseases, because due to their close relationship with virulence, the strategy of iron-dependent pathogen control is a promising direction for future research and offers a wide range of possible therapeutic applications as an alternative to common types of antibiotics.

This review provides information on studies of the antimicrobial properties of new, as well as already known siderophores of microbial origin for the last ten years.

Microorganisms capable for synthesizing siderophores were isolated from various natural sources such as soil, plants, seas and oceans. Not all of them have antimicrobial properties, however, due to a number of studies, antimicrobial activity was proved for such bacterial siderophores as: albumycin (*Streptomyces griseus* SCAK3), pyoverdine (*Pseudomonas aeruginosa*, *P. fluorescens*, *P. putida*), schizokinen (*Bacillus megaterium*), ferritin (*Brevibacillus brevis* GZDF3). Also, among the fungi, strains capable for synthesizing antimicrobial siderophores such as ferrichrome (*Penicillium commune* JJHO), ferricocin (*Aspergillus fumigatus* AF293) were isolated.

СИДЕРОФОРИ ЯК НОВА АЛЬТЕРНАТИВА АНТИМІКРОБНИМ ЗАСОБАМ

Т.О. Підгурська, Ю. В. Карлаш

Національний університет харчових технологій

Нині актуальним є пошуки нових антимікробних засобів для боротьби з великою кількістю резистентних форм мікроорганізмів. Серед таких виділяється клас низькомолекулярних органічних молекул — сидерофори, які синтезуються бактеріями та грибами для захоплення заліза та інших мікроелементів, що є досить важливим елементом для нормальної життєдіяльності мікроорганізмів.

Сидерофори можуть бути використані у боротьбі зі збудниками багатьох захворювань, оскільки завдяки їх тісному взаємозв'язку з вірулентністю стратегія залізоалежної боротьби з патогенами є перспективним напрямом для майбутніх досліджень, що пропонує широкий спектр можливих терапевтичних застосувань як альтернативу поширеним типам антибіотиків.

Для досягнення високої концентрації під час синтезу сидерофорів потрібно враховувати низку факторів, таких як склад поживного середовища, наявність феруму, рН, температуру.

У пропонованому огляді наведено інформацію за останні десять років щодо досліджень антимікробних властивостей нових вже відомих сидерофорів мікробного походження, а також інформацію, що стосується оптимізації складу поживного середовища та підбору оптимальних показників культивування мікроорганізмів, здатних синтезувати сидерофори з антимікробними властивостями.

Мікроорганізми, здатні синтезувати сидерофори, були виділені з таких природних джерел, як ґрунт, рослини, моря та океани. Не всі з них проявляють антимікробні властивості, однак було доведено антимікробну активність для таких бактеріальних сидерофорів, як альбоміцин (*Streptomyces griseus* SCAK3), піовердин (*Pseudomonas aeruginosa*, *P. fluorescens*, *P. putida*), шизокінен (*Bacillus megaterium*), феритин (*Brevibacillus brevis* GZDF3). Також серед грибів було виділено штами, що синтезують такі антимікробні сидерофори, як ферихром (*Penicillium commune* JJHO), ферикроцин (*Aspergillus fumigatus* AF293).

Ключові слова: сидерофори, залізо, гриби, бактерії, антимікробні властивості.

Постановка проблеми. Антибіотикова резистентність основних збудників інфекційних захворювань є однією з найбільших проблем сучасної медицини. Всесвітня організація охорони здоров'я оголосила антибіотикорезистентність однією з основних загроз людству. Причиною зростаючої хвилі антибіотикорезистентності бактерій експерти називають безконтрольне застосування антибіотиків пацієнтами без призначення лікаря (самодіагностику й самолікування). Сьогодні зі 115 розроблених основних антибіотиків 68 уже практично не діють (Мінухіна, & Звягінцева, 2014).

Вирішенням цієї проблеми є інтенсифікація розробки і впровадження нових антимікробних препаратів шляхом використання сидерофорів.

Мета статті: визначення поняття сидерофорів, їх роль у життєдіяльності мікроорганізмів, а також аналіз сучасної літератури щодо антимікробної активності сидерофорів, які синтезуються бактеріями (Chakraborty, Francis, & Chakraborty, 2021) новими штамми грибів (Olshvang, Szebesczyk, Kozłowski, & Hadar, 2015; Szigeti, Szaniszló, Fazekas, & Gyemant, 2014; Ouchi, Watanabe, Nonaka, & Muramatsu, 2020) і дріжджів (Wang, Chi, Li, & Wang, 2009); визначення впливу складу поживного середовища та умов культивування на синтез сидерофорів; пошук мікроорганізмів, які на оптимізованих поживних середовищах під час культивування продукують сидерофори з найбільшою кінцевою концентрацією.

Матеріали і методи. Предметом дослідження є роль заліза у біосинтетичних процесах мікроорганізмів і роль залізо специфічних хелаторів-сидерофорів, які синтезуються різними видами мікроорганізмів, на їхню антимікробну активність.

Викладення основних результатів дослідження. *Роль сидерофорів для мікроорганізмів.* Залізо є одним з найбільш важливих мікроелементів, необхідних для розвитку всіх організмів. Це важливий кофактор, який у мікромольних концентраціях забезпечує ріст мікроорганізмів та їх основних видів метаболічної діяльності й біосинтетичних процесів. Специфічне надходження елементарного заліза в клітину є критичним для виживання мікробів, оскільки залізо міститься в цитохромах, фередоксинах та інших залізосіркопротеїдах. Воно необхідне для відновлення кисню та синтезу АТФ, відновлення ДНК-прекурсорів (Пирог, 2010).

У звичайних умовах іони заліза в навколишньому середовищі мають низьку концентрацію біодоступності. Залізо, незважаючи на те, що є четвертим за поширеністю елементом у природі, не є легкодоступним для мікроорганізмів у розчинній залістій формі Fe^{3+} . Це пов'язано з поганою розчинністю гідроксиду феруму ($K_{\text{sp}} = 10^{-38}$), що зменшує кількість вільного заліза за pH 7, якого не вистачає для оптимального росту мікроорганізмів (Swayambhu, & Bruno, 2021).

Як наслідок, бактерії і гриби виробили різноманітні стратегії імпорту й утилізації заліза в умовах його дефіциту. Вони синтезують залізоспецифічні хелатори — сидерофори.

Сьогодні встановлено, що сидерофори — це специфічний клас низькомолекулярних органічних молекул, які здатні зв'язуватись із залізом і утворювати розчинні Fe^{3+} комплекси. Вони ефективно зв'язують Fe^{3+} і транспортують його до клітин мікроорганізмів, де залізо зв'язується з рецепторами і потрапляє всередину клітини. Там воно звільняється і може бути використане мікроорганізмом.

Основна функція сидерофора полягає в тому, щоб з'єднатися із залізом, зробити його розчинним і забезпечити поглинання його клітинами (Matar, Albarri, & Makky, 2020).

Раніше сидерофори були відомі як сидерохроми (носії кольору) або сидераміни (носії аміну), оскільки здатність до зв'язування заліза була ідентифікована не одразу (Swayambhu, & Bruno, 2021).

Сидерофори певною мірою впливають на стан мікроорганізмів. Наприклад, у грибкових клітинах вони необхідні для вірулентності, стійкості до окислювального стресу, безстатевого та статевого розмноження, зберігання заліза, захисту

проти токсичності, спричєненої залізом і взаємодією гриба з господарем (Wang, Zhe, Liu, & Buzdar, 2009).

Наявність сидерофорів дає переваги у пристосованості тим видам мікроорганізмів, які їх використовують, покращуючи поглинання заліза і позбавляючи заліза конкурентів, які не можуть використовувати комплекс сидерофори-залізо (Eickhoff, & Bassler, 2020).

Мікроорганізми виробляють велику кількість сидерофорів:

- аеробактин, ентеробактин — *Escherichia coli*;
- десферіоксамін — *Streptomyces spp.*;
- десферитіоцин — *Streptomyces antibioticus*;
- мікобактин — *Mycobacterium tuberculosis*;
- піочелін — *Pseudomonas aeruginosa*;
- єрсиніябактин — *Yersina pestis* (Albelda-Berenguera, & Monachona, 2019).

Загалом, усі вони поділяються на основі функціональних лігандів, які зв'язуються з важкими металами (Swayambhu, & Bruno, 2021). Основні групи сидерофорів включають:

- катехолатний тип (ентеробактин, бацилбактин, петробактин);
- гідроксаматний тип (дефероксамін, екзохелін);
- карбоксилатний тип (стафілоферин А, ахробактин);
- змішаний тип (аеробактин, єрнініябактин, піовердин, піочелін) (Albelda-Berenguera, & Monachona, 2019; Golonka, Yeoh, & Vijay-Kumar, 2019).

Сидерофори катехолатного типу мають найвищу спорідненість із тривалентним залізом завдяки утворенню п'ятичленних хелатних кілець. До їх складу входить катехолатна частина (рис. А).

Сидерофори гідроксаматного типу — це майже всі грибні сидерофори. Вони також утворюють п'ятичленні хелатні кільця, але з меншою спорідненістю до заліза. Складаються з гідроксаматної частини (рис. В).

Сидерофори карбоксилатного типу мають карбоксилатну та гідроксильну донорні групи. При нейтральному рН карбоксилати, як правило, є менш ефективними сидерофорами в поглинанні заліза. Однак сидерофори карбоксилатного типу мають перевагу при більш кислому рН, де вони ефективніші, ніж катехолати та гідроксамати, які залишаються протонованими, тому цей тип сидерофорів корисний для мікробів, що живуть у кислому середовищі (рис. С).

Змішаний тип сидерофорів містить у своєму складі обидва фрагменти цих частин (Albelda-Berenguera, & Monachona, 2019).

Варто зазначити, що деякі сидерофори являють собою комбінацію частинок, що зв'язують залізо, і відомі як сидерофори змішаного типу (D) (Albelda-Berenguera, & Monachona, 2019).

Сидерофори виробляють багато бактерій, в тому числі патогенних. Мікроорганізми, особливо ті, які живуть на організмах-господарях або всередині них, конкурують за обмежені ресурси заліза. Сидерофори, які вони продукують, виявляють антибактеріальні властивості, пригнічуючи таким чином ріст мікроорганізмів-конкурентів. Виграє той мікроорганізм, який продукує сидерофор з найвищою константою зв'язування заліза, тобто той, що має найвищу спорідненість із залізом. "Залізне голодування" є ключовим сигналом для вироблення сидерофорів (Ringel, & Brüser, 2018).

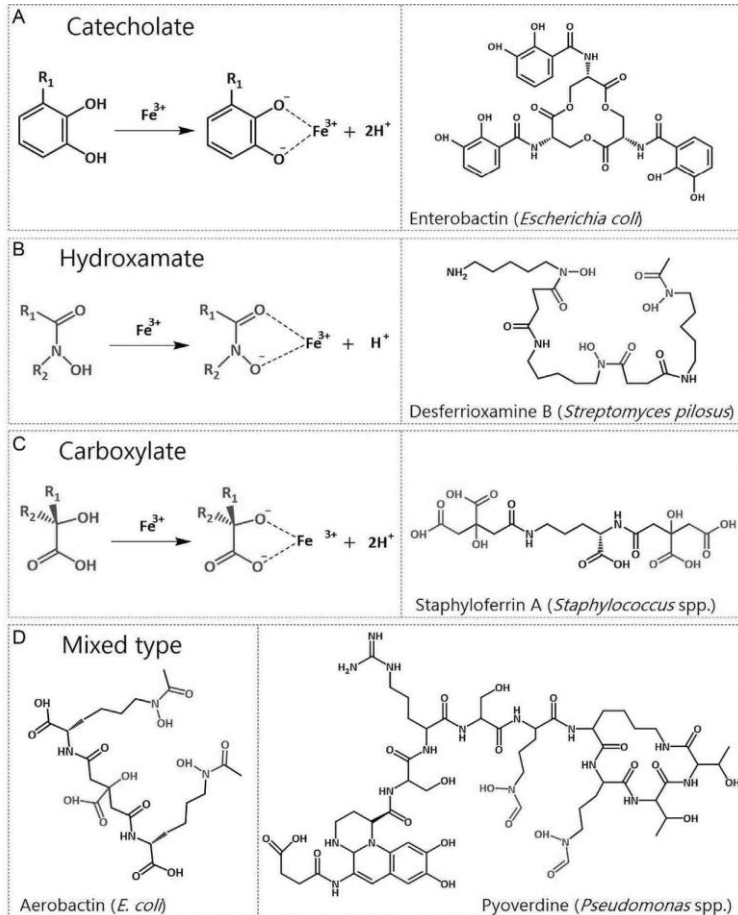


Рис. Найпоширеніші фрагменти, що зв'язують залізо, знайдені в мікробних сидерофорах: (А) катехолат, (В) гідроксамат і (С) карбоксилат

Антимікробні властивості сидерофорів. За останні кілька років усе більше привертають увагу сидерофори з антимікробними властивостями, які можуть бути використані в медицині як нові антимікробні засоби.

Наприклад, сидерофори, що синтезуються ціанобактеріями *Cylindrospermopsis raciborskii*, *Synechococcus elongatus*, *Microcystis aeruginosa*, демонструють протимікробну активність проти кількох патогенних бактерій (*Salmonella typhimurium* та *Bacillus subtilis*) (Silva-Stenico, Pamplona, Sturion, & Lorenzi, 2011). Хлоркатехелін, що синтезується *Streptomyces* sp., — це мікробний сидерофор, що також проявляє антимікробну активність (Kishimoto, Nishimura, & Hattori, 2014). Оксихелін проявляє антимікробні властивості проти *Streptomyces* sp. GW9/1258 (Sontag, Gerlitz, & Paululat, 2006) Як повідомляється у статті (Adler, Corbalan, & Seyedsayamdost, 2012), піочелін пригнічує ріст деяких представників роду *Xanthomonas* та *Staphylococcus aureus*. Також піочелін синтезований *Pseudomonas aeruginosa* пригнічує ріст *Trypanosoma cruzi* (Sass, Miller Conrad, Nguyen &

Stevens, 2020). Сидерофори, продуктовані *Pseudomonas fluorescens* BBc6R8, інгібують зростання актиноміцету *Streptomyces ambofaciens* ATCC23877 (Saha та ін., 2016; Ye та ін., 2014).

Одним із сидерофорів, що вже використовується в медицині, є дефероксамін (сидерофор гідроксаматного типу), який синтезується культурою *Streptomyces pilosus*. Він відомий тим, що його використовують для лікування перевантаження крові залізом. Однак цей сидерофор також проявляє й антимікробні властивості, адже перешкоджає росту коагулазонегативних стафілококів, які є основними патогенами у пацієнтів (Абатуров, & Крючко, 2018). Також дефероксамін відіграє певну роль під час перебігу атеросклерозу — захворювання, що супроводжується запальним процесом, який викликають різноманітні збудники. Сидерофор пригнічує їх ріст, зменшуючи запальний процес і пошкодження тканин (Emri, Toth, & Nagy, 2013). У (Phelan, McQuaid, & Kenny, 2020) повідомляється про те, що дефероксамін впливає на збудників туберкульозу *Mycobacterium tuberculosis*. Зокрема, сидерофор бере участь у підтримці функції інфікованих імунних клітин, посилюючи гліколітичний метаболізм у макрофагах. Дефероксамін підтримує функцію вродженого імунітету, індукуючи виробництво білка IL1 β у макрофагах людини під час раннього зараження *M. Tuberculosis*. Відомо також, що дефероксамін підвищує протиракову активність трихостатину А (Ronan, Kadi, & McMahon, 2018).

У (Wang, Li, & Mu, 2019) є підтвердження того, що й сам дефероксамін проявляє протипухлинну активність, оскільки залізо сприяє зростанню та розмноженню злоякісних клітин, тому хелатори заліза можуть пригнічувати ріст пухлинних клітин, виснажуючи внутрішньоклітинний вміст заліза.

Дефероксамін має також певний інгібуючий ефект проти *Porphyromonas gingivalis in vitro*, що є збудником парадонтиту людини. Також у присутності дефероксаміну підвищується згубна дія H₂O₂ на бактерії (Moon, Nett, & Kim, 2011).

VL-2397 — препарат, що знаходиться на стадії клінічної розробки, він схожий за своєю будовою на сидерофор ферихром і проявляє протигрибкові властивості (Nathan, 2017). У статтях (Akemi, Mikihiro, & Hiroaki, 2020; Takuya, Mikihiro, & Hiroaki, 2021; Akemi, Mikihiro, & Hiroaki, 2016) повідомляється про те, що ферихром володіє протипухлинною активністю.

Новим напрямком етіологічного лікування інфекційних захворювань, викликаних антибіотикорезистентними бактеріальними штамами, є застосування сидероміцинів.

Сидероміцини — це сидерофори (катехолати і гідроксамати), які кон'юговані з антибіотиками (Абатуров, & Крючко, 2018). Власне сидерофор являє собою ніби транспортну систему, яка легко проникає в клітину, доставляючи всередину захоплене залізо і переносячи таким чином протимікробну сполуку, яка до цього не могла проникнути в клітину. У такий спосіб за допомогою сидерофорів створюють так званий "троянський кінь". Цей метод дає змогу розробити нові препарати, здатні вражати бактерії та гриби, які були раніше стійкими до лікування. Нещодавно виявлені переваги цієї стратегії призвели до синтезу серії антибіотиків на основі сидерофорів (Gumienna-Kontecka, & Peggy, 2019; Górka, & Sloderbach, 2014). Одним із них є цефалоспориновий антибіотик цефідерокол

(Abdul-Mutakabbir, & Alosaimy, 2020; Bonomo, 2019).

Прикладами натуральних сидероміцинів є альбоміцини, фериміцини, даноміцини, сальміцини і мікроцини.

Перші сидероміцини, які були розроблені в 1960 р., — це фериміцини-сидерофори, що продукуються бактеріями *Streptomyces griseoflavus*. Фериміцини (A1, A2 і B) — це кон'югат феріоксаміна B і антибіотиків. Фериміцини проявляють виражену антибактеріальну активність тільки проти грампозитивних бактерій, зокрема проти бактерій *S. aureus*.

Мікроцини — це невеликі, рибосомально синтезовані антимікробні пептиди, які продукуються грамнегативними бактеріями і володіють вузьким спектром антимікробної дії (Gumienna-Kontecka, & Peggy, 2019). Мікроцини класу Pb, E492, H47 і M називаються сидерофорними мікроцинами, оскільки щільно з'єднані з катехолатним сидерофором. Ці мікроцини використовують рецептори сидерофорів для проникнення в конкуруючі бактеріальні клітини, проявляючи таким чином антимікробні властивості. Вони мають вузький спектр пригнічення, діючи на близькі види (пригнічує ріст 31 штаму *E. coli*). Ці сполуки пригнічують також ріст *Salmonella* і *Klebsiella*, які належать до родини *Enterobacteriaceae* (Paquette, & Reuter, 2020).

Даноміцини і сальміцини складаються з тригідроксаматного даноксаміна (сидерофор) і аміноглікозидного антибіотика. Ці сполуки інгібують синтез білка стафілококів і стрептококів. Сальміцини були виділені зі штаму бактерій *Streptomyces violaceus* і містять феріоксамін, кон'югований з амінодисахаридом. Припускають, що сальміцин пригнічує синтез протеїнів подібно до антибіотиків аміноглікозидної групи (Gumienna-Kontecka, & Peggy, 2019).

Альбоміцини інгібують ріст як грампозитивних, так і грамнегативних бактерій (Gumienna-Kontecka, & Peggy, 2019). Було виявлено, що *Enterobacteriaceae* чутливі до альбоміцину, за винятком видів, які не мають ферікогідроксаматної транспортної системи. Більше того, грампозитивні *S. aureus* і *Streptococcus pneumoniae* також високочутливі до дії альбоміцину (Albelda-Berenguera, & Monachona, 2019).

Сальміцин демонструє той самий спектр активності з грампозитивними бактеріями, що й альбоміцин, однак на відміну від нього сальміцин активний проти *S. agalactiae*. Сальміцин неактивний щодо більшості грамнегативних бактерій, виняток становлять *Hafnia alvei*, *Citrobacter freundii* та деякі штами *Yersinia enterocolitica*, які чутливі в концентрації до 10 нг/мл сальміцину, що пригнічує грампозитивні бактерії (Braun, Pramanik, & Gwinner, 2009).

Ще один сидерофор, який використовується на сьогодні вченими як "троянський кінь" для доставки лікарських засобів безпосередньо в патогенні бактеріальні клітини, це бацилобактин, що синтезує *Bacillus subtilis*. Бацилобактин спрямований переважно проти грампозитивних бактерій, проте він також охоплює грамнегативні бактерії, віруси, гриби (Матвеева, 2019; Chakraborty, Kizhakkalam, & Joy, 2022).

Застосування галійвмісних сидерофорів — це ще один підхід до терапії інфекцій, викликаних антибіотикорезистентними бактеріями. Було встановлено, що Ga-DFO (галій-десфероксамін) володіє великою терапевтичною активністю при лікуванні інфекцій, викликаних *Pseudomonas* (Gumienna-Kontecka, & Peggy,

2019; Mular, Shanzer, & Kozłowski, 2021).

Відомо, що *Pseudomonas* виробляють сидерофори, що захоплюють галій так само активно, як і залізо. Було проведено ряд дослідів, при яких у поживне середовище додавали галій, при цьому сидерофори, які його захоплюють і несуть, повертаються в колонії мікроорганізмів. За наявності галію досліджувані колонії гинуть за рахунок того, що сидерофори, зв'язані галієм, не можуть захоплювати залізо, яке життєво необхідне клітинам. При потраплянні галію в клітини мікроорганізми гинуть, оскільки це важкий метал, що є токсичним у великих кількостях. Можна припустити, що сидерофори псевдомонад можна ефективно використовувати в медицині для розробки антимікробних препаратів (Шкут, & Карпов, 2017).

Також комплекс дефероксаміну і кадмію (Cd-DFO) призводить до пригнічення таких мікроорганізмів, як *E. coli*, *P. aeruginosa* і *C. albicans* (Mattos, & Constantino, 2013).

Оскільки залізо має вирішальне значення для життєздатності мікробів, то його зв'язування, тобто недоступність для патогенів, є одним із засобів, що може бути використаний у медицині для розробки нових антимікробних засобів (Nathan, 2017). На основі сидерофорів створюються синтетичні комплексні сполуки, зокрема кон'югати сидерофорів з антибіотиками. За рахунок того, що сидерофори легко потрапляють всередину клітини, оминаючи цитоплазматичну мембрану, кон'югати сидерофорів так само легко доставляють антибіотик у клітину, в результаті чого вона гине (Negash, & Norris, 2019).

Також сидерофори можуть бути використані не лише як транспортувальники заліза, а й інших металів у токсичних для клітин концентраціях (Mattos & Constantino, 2013).

Сидерофори бактерій. Бактерія *Bacillus velezensis* MBTDLP1 MTCC 13048, яка була виділена з макроводорості південно-східного прибережного регіону Індії, продукує сидерофори, здатні пригнічувати ріст *Staphylococcus aureus* (зона затримки інгібування близько 35 мм) (Chakraborty, Francis, & Chakraborty, 2021).

Бактерії роду *Pseudomonas* продукують сидерофори піовердини, які виявляють виражені антибактеріальні властивості проти збудників різноманітних хвороб рослин, що можуть бути розглянуті для застосування в медицині. Було проведено ряд досліджень і зроблено висновок про те, що піовердин не володіє вираженими цитотоксичними властивостями щодо клітин людини. У табл. 1 наведено певні види мікроорганізмів, які чутливі до піовердину (Murugappan, Aravinth, Rajaroobia, Karthikeyan, & Alamelu, 2012).

Таблиця 1. Вплив піовердину на патогенні види мікроорганізмів

Назва мікроорганізму, ріст якого пригнічує піовердин	Зона затримки росту, мм	
	Безклітинний супернатант	Очищений сидерофор
1	2	3
<i>Staphylococcus aureus</i> NCIM 2079	9	12
<i>Aeromonas hydrophila</i> MTCC 646	13	16
<i>Vibrio parahaemolyticus</i> MTCC 451	11	15
<i>Vibrio harveyi</i> MTCC 3438	10	14
<i>Asperillus niger</i> NCIM 586	15	11

Продовження таблиці 1

1	2	3
<i>Microsporum gypseum</i> MTCC 2830	13	12
<i>Aspergillus flavus</i> MTCC 7133	18	14
<i>Penicillium oxalicum</i> MTCC 4931	13	9
<i>Fusarium oxysporum</i> MTCC 4894	14	10

Як можна побачити з табл. 1, піовердин проявляє антимікробні властивості до значної кількості мікроорганізмів, серед яких наявні як гриби, так і бактерії. Особливо слід відмітити, що піовердин пригнічує *Staphylococcus aureus*, *Aspergillus niger*, *Microsporum gypseum*, *Aspergillus flavus*, які є збудниками хвороб людини, тому можна зробити висновок стосовно потенціалу цього сидерофора при розробці нових медичних препаратів для боротьби з патогенами (Murugan, Aravindh, Rajarao, Karthikeyan, & Alamelu, 2012).

Загалом представники роду *Pseudomonas* синтезують широкий спектр антибіотичних речовин, серед яких сидерофори займають особливе місце. За рахунок того, що сидерофори псевдомонад швидше зв'язують залізо, воно стає недоступним для інших мікроорганізмів, які продукують сидерофори. Так псевдомонади виграють у конкурентній боротьбі за цей життєво необхідний елемент і таким чином пригнічують ріст інших мікроорганізмів (Івах, & Русакова, 2013).

Надмолекулярний комплекс рамноліпідів-альгінату-піовердину JRV-L-2, що синтезує *Pseudomonas aeruginosa* JRV-L, можна використовувати як противірусний засіб для лікування хвороб, спричинених фітопатогенами рослин, бактеріями, грибами та вірусами (Шульга, Джогель, Карпанко, Пристай, & Вільданова, 2017).

Сидерофор шизокенін має потенціал як діагностичний агент для візуалізації грампозитивних організмів у клінічній діагностиці (Chuljerm, Deedom, & Fucharoen, 2020).

Бактерія *Brevibacillus brevis* GZDF3 синтезує сидерофор феритин, що проявляє антимікробну активність проти *Candida albicans*, яка здатна спричинити опортуністичні інфекції людини. Зони інгібування росту *C. albicans* після обробки культуральною рідиною становлять 41 ± 3 мм та 45 ± 3 мм з вихідним та оптимізованим середовищем відповідно (Sheng, Jia, Zhang, & Zeng, 2020).

Сидерофори грибів і дріжджів. Вчені, які займалися розробкою аналогів ферихрому (*Penicillium commune* JJHO), встановили, що вони пригнічують *E. coli* та *P. putida* і проявляють активність широкого спектра (так само, як ферихром у нативному стані) (Olshvang, Szebesczyk, Kozłowski, & Hadar, 2015).

Сидерофори патогенних грибів, такі як ферикроцин (*Aspergillus fumigatus*), викликають особливий інтерес у протигрибковій терапії (Szigeti, Szaniszló, Fazekas, & Gyemant, 2014).

Було встановлено, що гриб *Clonostachys compactiuscula* FKR-0021 синтезує сидерофори копрогени, які впливають на збудників малярії *Plasmodium falciparum* FCR3 та K1 *in vitro* (Ouchi, Watanabe, Nonaka, & Muramatsu, 2020). Вони можуть бути використані для розробки нових протималярійних засобів. Вплив копрогенів на збудників малярії показано в табл. 2.

Дріжджі *Aureobasidium pullulans* HN6.2 здатні виробляти сидерофор, що проявляє антимікробну активність проти *B. subtilis*, *Vibrio anguillarum* та *Vibrio para-*

haemolyticus (Wang, Chi, Chi, Li, & Wang, 2009). Відомо, що *V. Parahaemolyticus* викликає шлунково-кишкові захворювання людини, а *V. anguillarum* є збудником хвороб риби.

Таблиця 2. Вплив копрогенів на штами *Plasmodium falciparum*

Тип сидерофору	Концентрація напівмаксимального інгібування IC ₅₀ , мкМ	
	Штам <i>Plasmodium falciparum</i> K1	Штам <i>Plasmodium falciparum</i> FCR3
Копроген А	9,9	5,5
Копроген В	5,4	3,5
Копроген С	5,2	3,0
N ¹⁴ -пальмітоїл-копроген	2,6	1,7

Однак, як повідомляється в (Sinatra, & Colby, 2018), були також зареєстровані випадки смертності людей після ураження *V. anguillarum*. У табл. 3 представлені основні типи сидерофорів, що володіють антимікробними властивостями.

Таблиця 3. Антимікробні властивості сидерофорів

Назва сидерофору	Продуценти	Антимікробні властивості	Література
1	2	3	4
Альбоміцин	<i>Streptomyces griseus</i> SCAK3	Пригнічує ріст грам позитивних (<i>Staphylococcus aureus</i> і <i>Streptococcus pneumoniae</i>) і деяких грамнегативних бактерій <i>Enterobacteriaceae</i>	Albelda-Berenguer & Monachona, 2019
—	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> , <i>Synechococcus elongatus</i> , <i>Microcystis aeruginosa</i>	Ефективні проти <i>Salmonella typhimurium</i> та <i>Bacillus subtilis</i>	Silva-Stenico, Pamplona & Sturion Lorenzi, 2011
Піочелін	Представники роду <i>Pseudomonas</i>	Пригнічує ріст представників роду <i>Xanthomonas</i> та <i>Staphylococcus aureus</i> , також знижує активність <i>Trypanosoma cruzi</i>	Абатуров & Крючко, 2018
Піовердин	Представники роду <i>Pseudomonas</i> (різні штами <i>P. aeruginosa</i> , <i>P. fluorescens</i> , <i>P. putida</i>)	Піовердин володіє вираженими протимікробними властивостями проти: <i>Staphylococcus aureus</i> NCIM 2079, <i>Aeromonas hydrophila</i> MTCC 646, <i>Vibrio parahaemolyticus</i> MTCC 451, <i>Vibrio harveyi</i> MTCC 3438, <i>Asperillus niger</i> NCIM 586, <i>Microsporium gypseum</i> MTCC 2830, <i>Aspergillus flavus</i> MTCC 7133, <i>Penicilium oxalicum</i> MTCC 4931, <i>Fusarium oxysporum</i> MTCC 4894. Комплекс рамноліпідів альгіна-ту-піовердину JRV-L-2 застосовують як противірусний засіб	Абатуров & Крючко, 2018 Moon, Herr & Kim, 2011

1	2	3	4
Шизокінен	<i>Bacillus megaterium</i>	Має потенціал як діагностичний агент, зокрема для візуалізації грам позитивних організмів у клінічній діагностиці	Olshvang, Szabeszczuk, Kozłowski & Hadar, 2015
Феритин	<i>Brevibacillus brevis</i> GZDF3	Пригнічує ріст <i>Candida albicans</i> , що здатна спричиняти опортуністичні інфекції людини	(Moon, Herr & Kim, 2011)
Ферихром	<i>Penicillium commune</i> JJHO	Виявляє активність проти <i>E. coli</i> та <i>P. putida</i> . Проявляє протигрибкові властивості Володіє протипухлинною активністю	Olshvang, Szabeszczuk, Kozłowski & Hadar, 2015; Abdul-Mutakabbir & Alosaimy, 2020; Bonomo, 2019; Paquette & Reuter, 2020; Braun, Pramanik & Gwinner, 2009
Ферикроцин	<i>Aspergillus fumigatus</i> AF293	Активний проти стафілококів та в протигрибковій терапії	(Szigeti, Szaniszló, Fazekas & Gyemant, 2014)
Копроген	<i>Clonostachys compactiuscula</i> FKR-0021 <i>Penicillium nalgiovense</i> NCAIM F-001333 <i>Penicillium nalgiovense</i> S1	Пригнічує життєдіяльність збудників малярії <i>Plasmodium falciparum</i> FCR3 та K1 <i>in vitro</i> . Можуть бути використані для розробки протималарійних засобів	Ouchi, Watanaabe, Nonaka K & Muramatsu, 2020
Сидерофор гідроксаматного типу	<i>Aureobasidium pullulans</i> HN6.2	Проявляє антимікробну активність проти <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Vibrio anguillarum</i> та <i>V. parahaemolyticus</i>	Wang, Chi, Chi, Li & Wang, 2009
Дефероксамін	<i>Streptomyces parvulus</i> CBS548.68 <i>Streptomyces pilosus</i> ATCC 19797	Пригнічує ріст коагулазо-негативних стафілококів. Зменшує запальний процес під час перебігу атеросклерозу, пригнічуючи ріст мікроорганізмів, що його викликають. Пригнічує збудників туберкульозу <i>Mycobacterium tuberculosis</i> . Проявляє протипухлинну та протиракову активність Пригнічує <i>Porphyromonas gingivalis in vitro</i> , що є збудником парадонтиту людини	Akemi, Mikihiro & Hiroaki, 2020 Takuya, Mikihiro & Hiroaki, 2021 Hiroaki, Mikihiro & Hiroki, 2016 Абатуров, Крючко, 2018; Górska & Sloderbach, 2014

1	2	3	4
Сальміцин	<i>Streptomyces violaceus</i>	Пригнічує ріст стафілококів та стрептококів. Активний проти <i>Streptococcus agalactiae</i> , <i>Hafnia alvei</i> , <i>Citrobacter freundii</i> та деяких штамів <i>Yersinia enterocolitica</i>	Матвеева, 2019 Negash & Norris, 2019
Мікроцини	<i>Escherichia coli</i>	Пригнічує ріст <i>Salmonella</i> і <i>Klebsiella</i> , які належать до родини <i>Enterobacteriaceae</i>	Nathan, 2017
Бацилбактин	<i>Bacillus subtilis</i>	Пригнічує ріст грамнегативних бактерій	Murugappan, Aravindh, Rajaraoobha, Karthikeyan & Alamelu, 2012

Біотехнологічні особливості отримання сидерофорів роду Streptomyces. Серед представників роду *Streptomyces* досить поширеними антимікробними сидерофорами є дефероксаміни (табл. 4).

Таблиця 4. Сидерофори представників роду Streptomyces

Штам	Джерело вуглецю та азоту, г/л	Назва сидерофору	Концентрація, г/л	Література
<i>Streptomyces parvulus</i> CBS548.68.	Глюкоза — 25 Глутамат натрію — 13 MOPS — 21	Дефероксамін Е	2,09	Gáll, Lehocski & Gyémánt, 2016
<i>Streptomyces pilosus</i> ATCC 19797	Соеве борошно — 20 Маніт — 20 Треонін — 0,1	Дефероксамін В	5	Chiani, Akbarzadeh & Farhangi, 2010
<i>Streptomyces pilosus</i> ATCC 19797	Соеве борошно — 20 Манітол — 20	Дефероксамін В	1,2	Mortazavi & Akbarzadeh, 2012

Важливим моментом для практичного використання сидерофорів у суспільній практиці є розроблення ефективних біотехнологій їх отримання. Увага вчених-дослідників нині прикута до пошуку оптимального складу поживних середовищ для культивування штамів мікроорганізмів продуцентів сидерофорів, які мають найвищу продуктивність і раціональну вартість поживного середовища.

У (Gáll, Lehocski, & Gyémánt, 2016) проводився підбір оптимального поживного середовища для найвищого синтезу сидерофору дефероксаміну Е штамом *S. parvulus* CBS548.68. У результаті було встановлено, що при наявності глюкози, глутамату натрію та MOPS (3-морфолінопропан-1-сульфонова кислота) концентрація сидерофору становить 2 г/л (біомаса 8,9 г/л), якщо порівняти з іншими джерелами вуглецю та азоту: крохмаль і аспарагін — 96 мг/л (біомаса 2,8 г/л); крохмаль, аспарагін, MOPS — 882 мг/л (біомаса 7,9 г/л).

У (Chiani, Akbarzadeh, & Farhangi, 2010) дослідники підбирали поживне середовище для синтезу дефероксаміну В з використанням культури *S. pilosus* ATCC 19797. Після вирощування культури на кількох поживних середовищах (МҮВ,

NB, LB, соєве середовище) було встановлено, що соєве середовище є найкращим серед інших, тож воно було обрано для подальших досліджень. Далі до базового соєвого середовища додавали різні солі. В результаті комбінації солей KH_2PO_4 ; $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \times 12\text{H}_2\text{O}$; $\text{CaCl}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$; $\text{ZnSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ було досягнуто найвищої концентрації сидерофору (5 г/л), що свідчить про значний вплив цих солей на синтез дефероксаміну В.

У (Mortazavi, & Akbarzadeh, 2012) вивчався вплив мінералів на синтез дефероксаміну *B. S. pilosus* ATCC 19797. Вихідне середовище містило лише маніт та соєве борошно. В процесі культивування додавали мінералі солі (CaCl_2 ; ZnSO_4 ; MgSO_4 ; MnCl_2 ; FeSO_4 ; Na_2HPO_4), які всі (окрім феруму) позитивно впливали на синтез сидерофору. Загалом концентрація дефероксаміну становила 1,2 г/л.

Біотехнологічні особливості отримання сидерофорів роду *Pseudomonas*. У (Vindeirinho, Soares, & Soares, 2021) дослідники вивчали зміну синтезу піовердину шляхом маніпуляцій зі складом поживного середовища, на якому здійснювали культивування штаму *P. fluorescens* DSM 50090. Бактерії вирощували на двох видах поживних середовищ — середовищі Кінга В, що містить багато поживних речовин, і мінімальному середовищі MMS. Враховуючи продуктивність біосинтезу піовердину в ммоль/г сухої біомаси, виробництво сидерофорів було більш ефективним саме на середовищі MMS (~ 25 ммоль/г), якщо порівняти із середовищем Кінга В (~ 11 ммоль/г). Саме тому це середовище було обрано для подальших досліджень. У табл. 5 показано результати культивування представників роду *Pseudomonas* при біосинтезі сидерофорів піовердинів.

Таблиця 5. Умови культивування представників роду *Pseudomonas*

Штам	Концентрація джерел вуглецю та азоту, г/л	Концентрація сидерофорів	Література
<i>Pseudomonas fluorescens</i> DSM 50090	Сукцинат — 4	24 ммоль/л	Vindeirinho, Soares & Soares, 2021
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> RZS9.	Сукцинат — 4,9	69,41% SU*	Shaikh, Wani & Sayyed, 2016
<i>Pseudomonas putida</i> CMMB2	Сукцинат — 4 Казамінокислоти — 4,6	81 % SU*	Murugappan, Aravindh, Rajarobia, Karthikeyan & Alamelu, 2012

Примітка: * — сидерофорні одиниці, виражені у %.

Наступним етапом було дослідження впливу джерела вуглецю на синтез сидерофорів. Найкращі результати спостерігались саме при використанні сукцинату (~ 24 ммоль/л), якщо порівняти з декстрозою (~ 11 ммоль/л) та гліцерином (~ 11,5 ммоль/л). Додавання амінокислот і зміна концентрації фосфату не підвищували синтез піовердину.

У (Shaikh, Wani, & Sayyed, 2016) проводилась оптимізація сукцинатного середовища (концентрація сидерофору 63% SU) *P. aeruginosa* RZS9. Параметри, що підлягали оптимізації: концентрація солей K_2HPO_4 , KH_2PO_4 , $(\text{NH}_4)\text{SO}_4$, $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$, бурштинова кислота, pH (6—8) і температура (22—34 °C). У резу-

льтаті оптимізації була досягнута концентрація сидерофорів 69,41% SU.

У (Murugappan, Aravinth, Rajaroobia, Karthikeyan, & Alamelu, 2012) вирощували *P.putida* CMMB2 на мінімальному середовищі MM9. Визначали вплив заліза, pH, джерела вуглецю та азоту на синтез сидерофору піовердину. Найкращим виявився сукцинат (73% SU), амінокислоти (71% SU), NH_4Cl (71% SU). Загалом додавання заліза негативно вплинуло на синтез при його додаванні в кількості 2 мкМ (70% SU), максимальне зростання та синтез сидерофорів спостерігалось при pH 8. При доповненні середовища MM9 сукцинатом (4 г/л), казамінокислотами (4,6 г/л) та NH_4Cl (10 г/л) концентрація сидерофору склала 81% SU.

У (Русакова, 2016) вчені досліджували вплив іонів феруму на синтез сидерофорів різних штамів *P.aeruginosa*, які вирощували при температурі 37 °C (табл. 6). Аналізуючи дані таблиці, можна побачити, що додавання 3 мкМ $\text{FeCl}_3 \times 6\text{H}_2\text{O}$ практично не мало впливу на синтез сидерофорів. Концентрація 30 мкМ призвела до 1,5—2,5-кратного пригнічення синтезу сидерофорів, а концентрація 300 мкМ повністю зупиняла їх синтез.

Таблиця 6. Вплив іонів феруму на синтез сидерофорів

Штам	Концентрація сидерофорів, мкМ/10 ⁹			
	Середовище без $\text{FeCl}_3 \times 6\text{H}_2\text{O}$	Середовище з 3 мкМ $\text{MFeCl}_3 \times 6\text{H}_2\text{O}$	Середовище з 30 мкМ $\text{MFeCl}_3 \times 6\text{H}_2\text{O}$	Середовище з 300 мкМ $\text{MFeCl}_3 \times 6\text{H}_2\text{O}$
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 15692	13,2	13,0	7,5	0
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 27853	13,0	12,6	4,8	0
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 10145	12,1	11,4	4,6	0
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 9027	13,2	12,9	5,6	0

У (Левченко, & Русакова, 2019) вчені також вивчали вплив іонів феруму на синтез сидерофорів. Використовували такі представники роду *Pseudomonas*: *P. chlororaphis* (ONU 304, ONU 305, ONU 306) та *P. fluorescens* ONU 303. Розвиток культур відбувався на рідкому поживному середовищі Кінга. Культури *P. fluorescens* та *P. chlororaphis* продукували залізохелатуючі сполуки, що належать до сидерофорів піовердинового типу.

Якщо при культивуванні мікроорганізмів без додавання феруму показники синтезу сидерофорів були досить великі (найбільш активна продукція сидерофорів спостерігалась у штамі *P. fluorescens*), то при додаванні 30 мкг/мл Fe^{3+} утворення цих сполук зменшувалось. Наявність Fe^{3+} у концентрації 1000 мкг/мл у поживному середовищі спричинила практично повну зупинку синтезу цих сполук.

Біотехнологічні особливості отримання сидерофорів інших бактерій. У статті (Sheng, Jia, Zhang, & Zeng, 2020) дослідники вивчали сидерофори, що

продукує бактерія *Brevibacillus brevis* GZDF3, та їх антимікробну активність проти *Candida albicans*. Крім того, проводили оптимізацію поживного середовища та досліджували вплив на синтез сидерофорів різноманітних факторів: pH, температури, джерел вуглецю та азоту, іонів металів та їх концентрацій.

У результаті виявили, що сахароза та аспарагін дають найвищу концентрацію сидерофорів, що становила 31,59 % SU та 31,64 % SU відповідно. Поєднання оптимізованої концентрації сахарози, аспарагіну і температури 32 °C сприяли утворенню 54,99% SU. Оптимальним для синтезу сидерофорів є pH 7,0. У результаті проведення досліджень з додаванням металів було виявлено, що збільшення концентрації Fe, Cu, Mn, Zn негативно впливало на синтез сидерофорів.

У статті (Santos, Neto, Machado, Soares, & Soares, 2014) описано оптимізацію середовища для культури *Bacillus megaterium*. Максимальна концентрація сидерофору у вихідному середовищі становила 1300 мкМ/л. Після підбору кількох джерел вуглецю максимальна продуктивність сидерофору ($1,182 \pm 115$ мкМ/г сухої біомаси) була досягнута при використанні гліцерину. Зміна концентрації джерела азоту (аргініну) не мала впливу. Також було доведено, що сидерофори продукуються в значно більшій кількості при перемішуванні 150 об/хв ($1\ 103 \pm 69$ мкМ/л через 48 год), ніж за відсутності аерації (223 ± 3 мкмоль/л через 20 днів).

У статті (Schwabeab, Sengesc, Bandowc, & Heine, 2020) авторами наведено дані про культивування *Gordonia rubripertincta* CWB2. Середовище оптимізували, додаючи різні джерела вуглецю (сахароза, глюкоза, фруктоза, сукцинат). Сукцинат виявився найкращим. У результаті використання підживлення сукцинатом була досягнута концентрація сидерофору дефероксаміну 178 мг/л.

У табл. 7 показано види бактерій, що продукують антимікробні сидерофори та умови їх культивування.

Таблиця 7. Бактеріальні сидерофори

Назва сидерофору	Продукцент	Джерело вуглецю та азоту, г/л	Концентрація сидерофорів	Література
Феритин	<i>Brevibacillus brevis</i> GZDF3	Сахароза — 15 L-аспарагін — 2	54,99 % SU	Sheng, Jia, Zhang & Zeng, 2020
Ізокінен	<i>Bacillus megaterium</i>	Глюкоза — 20 CH ₃ COONH ₄ — 3 Гідрохлорид аргініну — 1,5 Гліцерин — 20	$1,182 \pm 115$ мкМ/г сухої біомаси	Santos, Neto, Machado, Soares & Soares, 2014
Дефероксамін Е	<i>Gordonia rubripertincta</i> CWB2	Сукцинат — 4 NH ₄ Cl — 1	178 мг/л	Schwabeab, Sengesc, Bandowc & Heine, 2020

Біотехнологічні особливості отримання сидерофорів грибів і дріжджів. У (Hussein, & Joo, 2019) дослідники перевіряли на біосинтез сидерофорів 23 гриб-

кових штами, використовуючи бульйон Чапека-Докса. Після цього досліджували вплив іонів цинку різних концентрацій (50—250 мкг/мл) на синтез сидерофорів. У результаті виявилось, що найкращим продуцентом є штам *Penicillium commune* JJHO. Цей штам продукував найбільшу кількість сидерофору ферихрому (72,65% SU) при додаванні 150 мкг/мл іонів цинку порівняно з вихідним середовищем без цинку (67,37% SU).

У літературному джерелі (Szigeti, Szaniszló, Fazekas & Gyemant, 2014) описують культивування *Aspergillus fumigatus* AF293. Вихідне середовище — бульйон Барртата, змінюють шляхом збільшення концентрації глюкози (10—100 г/л) та додавання амінокислот (аргінін, аспарагін, гліцин, глутамін, метіонін, орнітин або серин в концентрації 0,1—1 г/л). Підбирають оптимальне значення pH (4—9). Продуктивність синтезу сидерофору визначали у мг/г сухого міцелію. В результаті досліджень встановлено, що максимальний вихід сидерофору (19,6 мг/г) було досягнуто при початковій концентрації глюкози 102 г/л та глутаміну 5,2 г/л, pH 7,4.

У (Emri, Toth, & Nagy, 2013) проводили порівняння синтезу копрогену в двох штаммах: *P. nalgiovense* S1 та *P. nalgiovense* NCAIM F-001333. При культивуванні штамів на однакових вихідних середовищах синтез копрогену був майже однаковий (169 мг/л та 182 мг/л відповідно). Додавання заліза негативно вплинуло на синтез сидерофорів (0,8 мг/л та 0,9 мг/л відповідно). Після цього подальші дослідження проводили зі штамом *P. nalgiovense* NCAIM F-001333 шляхом оптимізації зміни концентрації глюкози, глутамату натрію та pH. У результаті найбільший вихід сидерофору становив 238 мг/л при концентрації глюкози 47 г/л, глутамату натрію 5 г/л, pH 8.

Як повідомляється у (Wang, Chi, Li, & Wang, 2009), дріжджі *Aureobasidium pullulans* HN6.2 здатні виробляти сидерофор, що проявляє антимікробну активність проти *B. subtilis*, *Vibrio anguillarum* та *V. parahaemolyticus*.

У результаті було проведено оптимізацію поживного середовища шляхом зміни концентрації сахарози, K_2HPO_4 та додавання орнітину. Таким чином була підібрана оптимальна температура (28 °C) та кількість обертів перемішувального пристрою (170 об/хв). Як результат, була досягнута концентрація сидерофору 1,1 мг/мл. Умови біосинтезу сидерофорів, що продукуються грибами і дріжджами, показано у табл. 8.

Таблиця 8. Сидерофори грибного та дріжджового походження

Назва сидерофору	Продуцент	Джерело вуглецю та азоту, г/л	Концентрація	Література
1	2	3	4	5
Ферихром	<i>Penicillium commune</i> JJHO	Сахароза — 30 Нітрат натрію — 3	72,65 % SU	Hussein & Joo, 2019
Ферикроцин	<i>Aspergillus fumigatus</i> AF293	NaNO ₃ — 6 Глюкоза — 102 Глутамін — 5,2	19,6 мг/г сухого міцелію	Szigeti, Szaniszló, Fazekas & Gyemant, 2014

1	2	3	4	5
Копроген	<i>Clonostachys compactiuscula</i> FKR-0021	<i>Середовище I:</i> Глюкоза — 20 Поліпептон — 5 Дріжджовий екстракт — 2 <i>Середовище II:</i> Рис змочений водою — 500 г	Із 4,5 кг культури: Копроген А — 26,8 мг; Копроген В — 8,4 мг; Копроген С — 77,2 мг; N ¹⁴ -пальмітоил-копроген — 41,1 мг	Ouchi, Watanabe, Nonaka & Muramatsu, 2020
Копроген	<i>Penicillium nalgiovense</i> NCAIM F-001333	Глюкоза — 47; Глутамат натрію — 5; NaNO ₃ — 3; K ₂ HPO ₄ — 1; KCl — 1; MgSO ₄ — 1	238 мг/л	Emri, Toth & Nagy, 2013
Копроген	<i>Penicillium nalgiovense</i> S1	Глутамат натрію — 4,9 Глюкоза — 49,1	169 мг/л	Emri, Toth & Nagy, 2013
Сидерофор гідроксаматного типу	<i>Aureobasidium pullulans</i> HN6.2	Сахароза — 3 Аміачна селітра — 3 Лимонна кислота — 1 Орнітин — 10 мМ.	1100 мг/л	Wang, Chi, Li & Wang, 2009

Висновки

Нині вчені по всьому світу продовжують вивчати сидерофори та їх вплив на мікроорганізми. Відкривають нові види цих сполук та описують їх властивості. Особливо активно ведуться дослідження з використання сидерофорів у медицині, оскільки розробка нових антимікробних препаратів є вкрай важливою в сучасному світі.

Представлений огляд літератури показує, що синтез сидерофорів значною мірою залежить як від типу мікроорганізму, так і від складу поживного середовища. Для різних продуцентів характерні певні особливості, що впливають на синтез сидерофорів, зокрема це природа джерела вуглецю та азоту, наявність певних солей. Однак спільним для всіх було те, що наявність Fe³⁺ в поживному середовищі негативно впливає на синтез або зупиняє його повністю. Все це необхідно враховувати під час культивування мікроорганізмів для досягнення максимальної продуктивності. Продовжуються пошуки нових штамів мікроорганізмів-продуцентів сидерофорів, проводиться оптимізація складу поживного середовища та умов культивування з метою отримання максимальної продуктивності сидерофорів. Залишаються відкритими питання вибору раціональних технологій подальшого виділення та очищення сидерофорів з метою отримання комерційних препаратів та їх використання у суспільній практиці.

Література

- Абатуров, А. Е., Крючко, Т. А. Медикаментозне обмеження доступності іонів заліза для патогенних бактерій (частина 1). Здоров'я дитини. 2018. Т. 13, № 4. С. 416—425.
- Абатуров, А. Е., Крючко, Т. А. Медикаментозне обмеження доступності іонів заліза для патогенних бактерій (частина 2). Здоров'я дитини. 2018. Т. 13, № 5. С. 188—196.

Івах, В. В., Русакова, М. Ю. Значення сидерофорів ризосферних псевдомонад при створенні препаратів для біологічного захисту рослин: матеріали IV наук.-практич. всеукр. конф. 2013. С. 1—3.

Шевченко, В. В., Русакова, М. Ю. Характеристика продукції сидерофорів деякими штамми псевдомонад. Сучасні досягнення фармацевтичної технології і біотехнології: матеріали VIII наук.-практич. конф. 2019. С. 292—295.

Матвеева, Л. Пробиотичні бактерії роду *Bacillus*: нормалізація мікробіоценозу кишечника. Гастроентерологія: наукові праці. 2019, № 4 (449). С. 10

Мінухіна, В. В., Звягінцева, Т. В. *Антибіотикорезистентність. Сучасний погляд на проблему та шляхи подолання*: збірник тез міжкафедральної науково-практичної конференції. Х.: ХНМУ. 2014. 16 с.

Пирог, Т. П. *Загальна мікробіологія* / Т. П. Пирог. К.: НУХТ, 2010. 632 с.

Русакова, М. Ю. Утворення сидерофорів клітинами синьогнійної палички за впливу препарату "Бактеріофаг псевдомонас аеругіноза". Вісник львівського університету. 2016. № 71. С. 222—229.

Шкут О.О., Карпов О.В. Можливості використання сидерофорів. Наукові праці НУХТ. 2017. Т. 23, №1. С. 49—57.

Шульга, О., Джогель, Д., Карпатко, О., Пристай, М., Вільданова, Р. Поверхнево-активні комплекси для штаму *Pseudomonas aeruginosa* JRV-L. SCHMT. 2017. С. 179—185.

Abdul-Mutakabbir, J. C., Alosaimy, S. (2020). Cefiderocol: A Novel Siderophore Cephalosporin against Multidrug-Resistant Gram-Negative Pathogens. *Pharmacotherapy*, 40(12), 1228—1247. doi: 10.1002/phar.2476.

Adler, C., Corbalan, N. S., Seyedsayamdost, M. R. (2012). Catecholate Siderophores Protect Bacteria from Pyochelin Toxicity. *J Plos Org*. 2012. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0046754>.

Akemi, K., Mikihiro, F., Hiroaki, K. (2020). Probiotic-derived ferrichrome inhibits the growth of refractory pancreatic cancer cells. *International Journal of Oncology*., 721—732. <https://doi.org/10.3892/ijo.2020.5096>. <https://www.spandidos-publications.com/10.3892/ijo.2020.5096>.

Albelda-Berenguera, M., Monachona, M. (2020). Siderophores: From natural roles to potential applications. *Advances in Applied Microbiology*, 106, 193—225. <https://doi.org/10.1016/bs.aambs.2018.12.001>.

Bonomo, R. A. (2019). Cefiderocol: A Novel Siderophore Cephalosporin Defeating Carbapenem-resistant Pathogens. *Clin Infect Dis*., 69, 519—520. doi:10.1093/cid/ciz823.

Braun, V., Pramanik, A., Gwinner, T. (2009). Sideromycins: tools and antibiotics. *BioMetals*, 22 (3), 3—13. DOI: 10.1007/s10534-008-9199-7.

Chakraborty, K., Kizhakkekalam, V. K., Joy, M. (2022). Bacillibactin class of siderophore antibiotics from a marine symbiotic *Bacillus* as promising antibacterial agents. *Appl Microbiol Biotechnol*, 106(1), 329—340. doi: 10.1007/s00253-021-11632-0.

Chiani, M., Akbarzadeh, A., Farhangi, A. (2010). Optimization of Culture Medium to Increase the Production of Desferrioxamine B (Desferal) in *Streptomyces pilosus*. *Pak J Biol Sci*, 13(11), 545—550. doi: 10.3923/pjbs.2010.546.550.

Chuljerm, H., Deudom, M., Fucharoen, S. (2020). Characterization of two siderophores produced by *Bacillus megaterium*: A preliminary investigation into their potential as therapeutic agents. *BBA — General Subjects*, 1864(10), 1—28.

Eickhoff, M. J., Bassler, B. L. (2020). *Vibrio fischeri* siderophore production drives competitive exclusion during dual-species growth. *Mol Microbiol*., 114(2), 244—261. DOI: 10.1111/mmi.14509.

Emri, T., Toth, V., Nagy, C. T. (2013). Towards high-siderophore-content foods: optimisation of coprogen production in submerged cultures of *Penicillium nalgiovense*. *J Sci Food Agric*, 93(9), 2221—8. DOI: 10.1002/jsfa.6029.

Gáll, T., Lehocski, G., Gyémánt, G. (2016). Optimization of desferrioxamine E production by *Streptomyces parvulus*. *Acta Microbiol Immunol Hung*, 63(4), 475—498. DOI: 10.1556/030.63.2016.029.

Golonka, R., Yeoh, B.S., Vijay-Kumar, M. (2019). The Iron Tug-of-War between Bacterial Siderophores and Innate Immunity. *J Innate Immun*., 11, 249—262. <https://doi.org/10.1159/>

000494627.

Górska, A., Sloderbach, A. (2014). Siderophore-drug complexes: potential medicinal applications of the 'Trojan horse' strategy. *Trends Pharmacol Sci.*, 35(9), 442—9. doi: 10.1016/j.tips.2014.06.007.

Gumienna-Kontecka, E., Peggy, L. C. (2019). Siderophore-Drug Conjugates for the Treatment of Infectious Diseases. *Met Ions Life Sci.*, 19. doi: 10.1515/9783110527872-013.

Hiroaki, K., Mikihiro, F., Hiroki, T. (2016). Probiotic-derived ferrichrome inhibits colon cancer progression via JNK-mediated apoptosis. *Nat Commun.* doi: 10.1038/ncomms12365.

Hussein, K.A., Joo, J.H. (2019). Zinc Ions Affect Siderophore Production by Fungi Isolated from the *Panax ginseng* Rhizosphere. *J Microbiol Biotechnol.*, 29(1), 105—113. doi: 10.4014/jmb.1712.12026.

Kishimoto, S., Nishimura, S., Hattori, A. (2014). Chlorocatechelins A and B from *Streptomyces* sp.: new siderophores containing chlorinated catecholate groups and an acylguanidine structure. *Org Lett.*, 16(23), 6108—11. doi: 10.1021/ol502964s.

Matar M., Albarri O., Makky E. (2020). A Glance on the Role of Bacterial Siderophore from the Perspectives of Medical and Biotechnological Approaches. *Curr Drug Targets*, 21(13), 1326—1343. doi: 10.2174/1389450121666200621193018.

Mattos, A. L., Constantino, V. R. (2013). Desferrioxamine-cadmium as a "Trojan horse" for the delivery of Cd to bacteria and fungi. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 27(2), 103—8. doi: 10.1016/j.jtemb.2012.09.001.

Moon, J.H., Herr, Y., Kim, S. W. (2011). In vitro activity of deferoxamine against *Porphyromonas gingivalis*. *FEMS Microbiology Letters*, 323(1), 61—67. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2011.02357.x>.

Mortazavi, M., Akbarzadeh, A. (2012). Improvement of Desferrioxamine B production of *Streptomyces pilosus* ATCC 19797 with use of protease inhibitor and minerals related to its activity. *Ind J Clin Biochem.*, 27(3), 274—277. doi: 10.1007/s12291-012-0197-8.

Mular, A., Shanzer, A., Kozłowski, H. (2021). Cyclic Analogs of Desferrioxamine E Siderophore for ⁶⁸Ga Nuclear Imaging: Coordination Chemistry and Biological Activity in *Staphylococcus aureus*. *Inorg Chem.*, 60(23), 17846—17857. doi: 10.1021/acs.inorgchem.

Murugappan, R. M., Aravinth, A., Rajaraoob, R., Karthikeyan, M., Alamelu, M. R. (2012). Optimization of MM9 Medium Constituents for Enhancement of Siderophoregenesis in Marine *Pseudomonas putida* Using Response Surface Methodology. *Indian J Microbiol.*, 52(3), 433—41. doi: 10.1007/s12088-012-0258-y.

Nathan, P. (2017). The antifungal arsenal: alternative drugs and future targets. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 1—32. <http://dx.doi.org/doi: 10.1016/j.ijantimicag.2017.09.002>.

Negash, K. H., Norris, K. S. (2019). Siderophore-Antibiotic Conjugate Design: New Drugs for Bad Bugs Molecules, 24(18), 3314. doi: 10.3390/molecules24183314.

Olshvang, E., Szebesczyk, A., Kozłowski, H., Hadar, Y. (2015). Biomimetic ferrichrome: structural motifs for switching between narrow- and broad-spectrum activities in *P. putida* and *E. coli*. *Dalton Trans.*, 44(48), 20850—8. doi: 10.1039/c5dt02685g.

Ouchi, T., Watanabe, Y., Nonaka, K., Muramatsu, R. (2020). Clonocoprogens A, B and C, new antimalarial coprogens from the Okinawan fungus *Clonostachys compactiuscula* FKR-0021. *J Antibiot* (Tokyo), 73(6), 365—371. doi: 10.1038/s41429-020-0292-7.

Paquette S. J., Reuter T. (2020). *Escherichia coli*: Physiological Clues Which Turn On the Synthesis of Antimicrobial Molecules. *Vet Sci.*, 7(4). doi: 10.3390/vetsci7040184.

Phelan, J. J., McQuaid, K., Kenny, C. (2020). Desferrioxamine Supports Metabolic Function in Primary Human Macrophages Infected With *Mycobacterium tuberculosis*. *Front Immunol.*, 13(11), 836. doi: 10.3389/fimmu.2020.00836.

Ringel, M. T., Brüser, T. (2018). The biosynthesis of pyoverdines. *Microbial Cell*, 5(10), 424—437. doi: 10.15698/mic2018.10.649.

Ronan, J. L., Kadi, N., McMahon, S. A. (2018). Desferrioxamine biosynthesis: diverse hydroxamate assembly by substrate-tolerant acyl transferase Des C. *The royal society*, 337 (1748). <https://doi.org/10.1098/rstb.2017.0068>.

Saha, M., Sarkar, S., Sarkar, B., Sharma, B. K., Bhattacharjee, S., Tribedi, P. (2016). Microbial

siderophores and their potential applications: a review. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, 23, 3984—99. doi: 10.1007/s11356-015-4294-0.

Santos, S., Neto, I. F., Machado, M. D., Soares. H. M., Soares. E. V. (2014). Siderophore production by *Bacillus megaterium*: effect of growth phase and cultural conditions. *Appl Biochem Biotechnol.*, 172(1), 549—60. doi: 10.1007/s12010-013-0562-y.

Sass. G., Miller Conrad, L. C., Nguyen, T. H., Stevens. D. A. (2020). The *Pseudomonas aeruginosa* product pyochelin interferes with *Trypanosoma cruzi* infection and multiplication in vitro. *Transactions of The Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 114 (7), 492—498. <https://doi.org/10.1093/trstmh/trz136>. <https://academic.oup.com/trstmh/article/114/7/492/5810320>.

Schwabeab, R., Sengesc, C. H., Bandowc, J. E., Heine. T. (2020). Cultivation dependent formation of siderophores by *Gordonia rubripertincta* CWB2. *Microbiological Research*, 238. doi: 10.1016/j.micres.2020.126481.

Sheng, M. M., Jia, H. K., Zhang, G. Y., Zeng, L.N. (2020). Siderophore Production by Rhizosphere Biological Control Bacteria *Brevibacillus brevis* GZDF3 of *Pinelliaternata* and Its Antifungal Effects on *Candida albicans*. *J Microbiol Biotechnol.*, 30(5), 689—99. doi: 10.4014/jmb.1910.10066.

Shaikh, S. S., Wani, S. J., Sayyed, R. Z. (2016). Statistical-based optimization and scale-up of siderophore production process on laboratory bioreactor. *Biotech.*, 6(1), 69. doi: 10.1007/s13205-016-0365-2.

Silva-Stenico, M. E., Pamplona, C. S., Sturion Lorenzi, A. (2011). Non-ribosomal peptides produced by Brazilian cyanobacterial isolates with antimicrobial activity. *Microbiological Research*, 166 (3), 161—175.

Sinatra, J. A., Colby, K. (2018). Notes from the Field: Fatal *Vibrio anguillarum* Infection in an Immunocompromised Patient — Maine, 2017. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep.*, 67(34);, 962—63. doi: 10.15585/mmwr.mm6734a5.

Sontag, B., Gerlitz, M., Paululat, T. (2006). Oxachelin, a novel iron chelator and antifungal agent from *Streptomyces* sp. GW9/1258. *J Antibiot.*, 59(10), 659—63. doi: 10.1038/ja.2006.88.

Swayambhu. G., Bruno. M. (2021). Siderophore natural products as farmaceutic agents. *Current Opinion in Biotechnology*, 69, 242—251. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2021.01.021>.

Szigeti, Z.M., Szanislo, S., Fazekas, E., Gyemant, G. (2014). Optimization of triacetylfulsarinine C and ferricrocin productions in *Aspergillus fumigatus*. *Acta Microbiol Immunol Hung.*, 61(2), 107—19. doi: 10.1556/AMicr.61.2014.2.2.

Takuya, I., Mikihiro, F., Hiroaki, K. (2021). Bacteria-derived ferrichrome inhibits tumor progression in sporadic colorectal neoplasms and colitis-associated cancer. *Cancer Cell Int.* DOI: 10.1186/s12935-020-01723-9.

Vindeirinho, J. M., Soares, H., Soares, E. V. (2021). Modulation of Siderophore Production by *Pseudomonas fluorescens* Through the Manipulation of the Culture Medium Composition. *Appl Biochem Biotechnol.*, 193(3), 607—18. doi: 10.1007/s12010-020-03349-z.

Wang, W. L., Chi, Z. M., Chi, Z., Li, J., Wang, X. H. (2009). Siderophore production by the marine-derived *Aureobasidium pullulans* and its antimicrobial activity. *Bioresour Technol.*, 100(9), 2639—41. doi: 10.1016/j.biortech.2008.12.010.

Wang, W., Zhe, Chi, Liu, G., Buzdar, M. (2009). Chemical and biological characterization of siderophore produced by the marine-derived *Aureobasidium pullulans* HN6.2 and its antibacterial activity. *Biometals*, 22, 965—972. DOI 10.1007/s10534-009-9248-x.

Wang, L., Li, X., Mu, Y. (2019). The iron chelator desferrioxamine synergizes with chemotherapy for cancer treatment. *J Trace Elem Med Biol.*, 56, 131—138. doi: 10.1016/j.jtemb.2019.07.008.

Ye, L., Hildebrand, F., Dingemans, J., Ballet, S., Laus, G., Matthijs, S. (2014). Draft genome sequence analysis of a *Pseudomonas putida* W15Oct28 strain with antagonistic activity to Gram-positive and *Pseudomonas* sp. Pathogens. *PLoS One*, 9. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0110038>. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0110038>.

INFLUENCE OF BIOLOGICAL INDUCTORS ON THE ANTI-ADHESIVE ACTIVITY OF *ACINETOBACTER CALCOACETICUS* IMV B-7241 SURFACTANTS

T. Pirog, M. Ivanov

National University of Food Technologies

Key words:

Acinetobacter
Calcoaceticus IMV B-7241
Surfactants
Anti-adhesive activity
Biological inductors

Article history:

Received 07.07.2022
Received in revised form
21.07.2022
Accepted 15.08.2022

Corresponding author:

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

ABSTRACT

The aim of the work was to study the anti-adhesive activity of surfactants synthesized by *A. calcoaceticus* IMV B-7241 in the presence of *B. subtilis* BT-2 in medium with purified glycerol and waste of biodiesel production (crude glycerol).

Cultivation of *A. calcoaceticus* IMV B-7241 was carried out in a liquid mineral medium with purified glycerol and crude glycerol (3 and 5% v/v, respectively). Alive and inactivated (autoclaved) *B. subtilis* BT-2 cells, as well as the supernatant after cultivation of the BT-2 strain, were used as inductors and introduced into the medium at the beginning of *A. calcoaceticus* IMV B-7241 cultivation at a concentration of 2.5–10% (v/v). Surfactants were extracted from the supernatant of the culture liquid with a modified mixture of Folch. The number of adhered cells of bacterial and yeast test cultures to steel and linoleum in the presence of surfactants was determined by spectrophotometric method.

It was established that the introduction of alive, inactivated *B. subtilis* BT-2 cells or the supernatant into the culture medium of *A. calcoaceticus* IMV B-7241 with glycerol of various degrees of purification was accompanied by the synthesis of surfactants, which were characterized by higher anti-adhesive activity than surfactants formed in medium without inductors. Adhesion of cells of bacterial test cultures (*Bacillus subtilis* BT-2, *Staphylococcus aureus* BMS-1, *Proteus vulgaris* PA-12, *Enterobacter cloacae* C-8) and yeast (*Candida albicans* D-6, *Candida tropicalis* PE-2) on abiotic materials, treated with preparations of surfactants (12–96 µg/ml), synthesized in the presence of biological inductors, was 1.1–5.9 times lower compared to using surfactants formed in medium without inductors. The supernatant after cultivation of *B. subtilis* BT-2 proved to be less effective inductor than alive or inactivated cells of the BT-2 strain.

As a result of this work, the possibility of increasing the anti-adhesive activity of *A. calcoaceticus* IMV B-7241 surfactants by introducing competitive bacteria *B. subtilis* BT-2 in the form of alive, inactivated cells or supernatant into the cultivation medium with both purified and crude glycerol was established. In addition, results indicate that the replacement of purified glycerol in the culture medium of *A. calcoaceticus* IMV B-7241 with crude glycerol allows, firstly, to increase the cost-efficiency of biodiesel production, secondly, to utilize toxic waste, thirdly, to receive surfactants with high anti-adhesive activity.

DOI: 10.24263/2225-2924-2022-28-4-5

ВПЛИВ БІОЛОГІЧНИХ ІНДУКТОРІВ НА АНТИАДГЕЗИВНУ АКТИВНІСТЬ ПОВЕРХНЕВО- АКТИВНИХ РЕЧОВИН *ACINETOBACTER CALCOACETICUS* IMB B-7241

Т. П. Пирог, М. С. Іванов

Національний університет харчових технологій

У статті досліджено антиадгезивну активність ПАР, синтезованих *A. Calcoaceticus* IMB B-7241 за наявності *B. subtilis* БТ-2 у середовищі з очищеним гліцерином та відходами виробництва біодизелю.

Вирощування *A. calcoaceticus* IMB B-7241 здійснювали у рідкому мінеральному середовищі з очищеним гліцерином та відходами виробництва біодизелю (об'ємною часткою 3 і 5% відповідно). Живі та інактивовані автоклавуванням клітини *B. subtilis* БТ-2, а також супернатант після вирощування штаму БТ-2 використовували як індуктори та вносили в середовище на початку процесу культивування *A. calcoaceticus* IMB B-7241 у концентрації 2,5—10% (об'ємна частка). Позаклітинні поверхнево-активні речовини виділяли з супернатанту культуральної рідини сумішшю Фолча. Вплив розчинів поверхнево-активних речовин на адгезію бактеріальних і дріжджових тест-культур до сталі та лінолеуму визначали спектрофотометричним методом.

Встановлено, що внесення живих, інактивованих клітин *B. subtilis* БТ-2 або супернатанту в середовище культивування *A. calcoaceticus* IMB B-7241 з гліцерином різного ступеня очищення супроводжувалося синтезом поверхнево-активних речовин, які характеризувалися вищою антиадгезивною активністю, ніж препарати, утворені в середовищі без індукторів. Адгезія клітин бактеріальних тест-культур (*Bacillus subtilis* БТ-2, *Staphylococcus aureus* БМС-1, *Proteus vulgaris* ПА-12, *Enterobacter cloacae* С-8) і дріжджів (*Candida albicans* Д-6, *Candida tropicalis* РЕ-2) на абіотичних матеріалах, оброблених розчинами поверхнево-активних речовин (12—96 мкг/мл), синтезованих за наявності біологічних індукторів, була в 1,1—5,9 раза нижчою порівняно з використанням препаратів, одержаних за відсутності індукторів. Супернатант після вирощування *B. subtilis* БТ-2 виявився менш ефективним індуктором, ніж живі чи інактивовані клітини штаму БТ-2.

У результаті проведеної роботи встановлено можливість підвищення антиадгезивної активності поверхнево-активних речовин *A. calcoaceticus* IMB B-7241 внесенням у середовище культивування як з очищеним гліцерином, так і відходами виробництва біодизелю конкурентних бактерій *B. subtilis* БТ-2 у вигляді живих, інактивованих клітин або супернатанту. Крім того, одержані результати вказують, що заміна очищеного гліцерину в середовищі культивування *A. calcoaceticus* IMB B-7241 на відходи виробництва біодизелю дає змогу, по-перше, підвищити рентабельність виробництва біодизелю, по-друге, утилізувати токсичні відходи, по-третє, одержати поверхнево-активні речовини з високою антиадгезивною активністю.

Ключові слова: *acinetobacter calcoaceticus* IMB B-7241, поверхнево-активні речовини, антиадгезивна активність, біологічні індуктори.

Постановка проблеми. Останніми роками збільшується кількість досліджень щодо перспектив практичного застосування мікробних поверхнево-активних речовин (ПАР) завдяки їхнім антимікробним, антиадгезивним властивостям та здатності до руйнування біоплівки (Abdelli та ін., 2019). Проте натепер ефективність технологій цих продуктів мікробного синтезу є нижчою порівняно з одержанням синтетичних аналогів. Для зниження собівартості ПАР мікробного походження як субстрати для їх біосинтезу використовують промислові відходи, зокрема відходи виробництва біодизелю (технічний гліцерин) (Diamantopoulou та ін., 2020; Пирог, Іванов, & Ярова, 2021). Разом з тим у літературі є лише поодинокі відомості щодо біологічних властивостей мікробних ПАР, синтезованих на таких відходах, і стосуються вони виключно антимікробної активності поверхнево-активних речовин (Bharali та ін., 2014).

У той же час з кожним роком усе активніше досліджуються антиадгезивні властивості мікробних ПАР (Yan та ін., 2019; Marcelino та ін., 2020; Ohadi та ін., 2020). Це зумовлено тим, що колонізація мікроорганізмами різних поверхонь є досить небезпечним явищем, що спричиняє не лише поширення інфекційних захворювань, а й псування продуктів (Ribeiro, Gueta, & Sarubbo, 2020). Так, наприклад, досліджується можливість застосування поверхнево-активних речовин мікробного походження як антиадгезивних агентів у виробництві молочних продуктів з метою запобігання адгезії мікроорганізмів до поверхні теплообмінників (Marcelino та ін., 2020).

Зазначимо, що упродовж останніх років з'являється все більше наукових публікацій про культивування продуцентів різноманітних практично цінних сполук за наявності так званих біологічних індукторів (конкурентних мікроорганізмів), що супроводжується посиленням антимікробної активності синтезованих цільових метаболітів (Li та ін., 2021).

У наших попередніх дослідженнях (Пирог, Іванов & Ярова, 2021) встановлено, що внесення у середовище культивування продуцента поверхнево-активних речовин *Acinetobacter calcoaceticus* IMB B-7241 клітин конкурентних бактерій *Bacillus subtilis* БТ-2 дало змогу підвищити антимікробну активність ПАР.

Одним з механізмів антиадгезивної дії мікробних ПАР є їх антимікробна активність, зумовлена порушенням функції клітинної мембрани в результаті дестабілізації її ліпідної упаковки, що супроводжується збільшенням гідрофобності поверхні мікроорганізмів. За рахунок таких змін під дією ПАР підвищується проникність клітинних мембран і, як наслідок, зниження адгезії клітин до твердих поверхонь (Ohadi та ін., 2020).

У зв'язку з викладеним вище припустили, що можна підвищити не тільки антимікробну, а й антиадгезивну активність мікробних ПАР у разі культивування продуцента за наявності біологічних індукторів.

Мета статті: дослідити антиадгезивну активність поверхнево-активних речовин, синтезованих *Acinetobacter calcoaceticus* IMB B-7241 за наявності *Bacillus subtilis* БТ-2 у середовищі з очищеним гліцерином і відходами виробництва біодизелю.

Матеріали і методи. Основний об'єкт досліджень — штам *Acinetobacter calcoaceticus* K-4, зареєстрований в Депозитарії мікроорганізмів Інституту мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного Національної академії наук України за номером IMB B-7241.

Штами бактерій (*Bacillus subtilis* БТ-2, *Staphylococcus aureus* БМС-1, *Proteus vulgaris* ПА-12, *Enterobacter cloacae* С-8) і дріжджів (*Candida albicans* Д-6, *Candida tropicalis* РЕ-2) з колекції живих культур кафедри біотехнології і мікробіології Національного університету харчових технологій використовували як тест-культури під час визначення антиадгезивних властивостей поверхнево-активних речовин.

Вирощування *A. calcoaceticus* IMB B-7241 здійснювали у рідкому мінеральному середовищі (Пирог, Іванов, & Ярова, 2021). Концентрації очищеного гліцерину (3%, об'ємна частка) та відходів виробництва біодизелю (5%, об'ємна частка) еквімолярні за вуглецем.

B. subtilis БТ-2 у вигляді суспензії живих та інактивованих клітин, а також супернатант після вирощування штаму БТ-2 використовували як біологічний індуктор, який вносили у середовище вирощування *A. calcoaceticus* IMB B-7241 на початку процесу культивування.

Підготовку біологічного індуктора, виділення поверхнево-активних речовин, визначення концентрації ПАР здійснювали так, як описано у нашій попередній статті (Пирог, Іванов, & Ярова, 2021).

Визначення антиадгезивних властивостей препаратів ПАР проводили як описано у (Rufino та ін., 2011). Однакові пластинки досліджуваного матеріалу (лінолеум, нержавіюча сталь) розміром 1 см² очищали за допомогою миючого засобу «Gala», ополіскували у дистильованій воді і стерилізували відповідно до матеріалу (нержавіюча сталь — при 112°C, 1 год; лінолеум — 112°C, 30 хв).

Частину пластинок матеріалу обробляли препаратами ПАР, а іншу — стерильною дистильованою водою (контроль), для чого поміщали пластинки на 24 год у препарат (або дистильовану воду) і витримували при кімнатній температурі. Потім контрольні і попередньо оброблені препаратами ПАР пластинки ополіскували 10 мл стерильної дистильованої води для видалення залишку препаратів.

Для забезпечення прикріплення клітин на поверхні матеріалів у суспензію тест-культур поміщали попередньо оброблені препаратами ПАР і контрольні пластинки лінолеуму та сталі і витримували 2 год при кімнатній температурі, після чого ополіскували 10 мл стерильної водопровідної води для видалення неадгезованих клітини. Після висихання пластинок на повітрі адгезовані клітини фіксували обробкою метанолом (99%) упродовж 15 хв і фарбували 1% розчином генціанвіолету (5 хв), ополіскували водопровідною водою і висушували при кімнатній температурі. Далі адгезовані клітини змивали з пластинок льодовою оцтовою кислотою (1 мл), добавляли 9 мл дистильованої води і вимірювали оптичну густину при 540 нм.

Кількість адгезованих клітин (адгезія) визначали спектрофотометричним методом як відношення оптичної густини суспензії, одержаної з оброблених препаратами ПАР матеріалів (сталь, лінолеум), до оптичної густини контрольних зразків (без обробки ПАР) і виражали у відсотках.

Усі досліди проводили в 3 повторях, кількість паралельних визначень в експериментах становила 3—5. Статистичну обробку експериментальних даних здійснювали так, як описано раніше (Пирог, Іванов, & Ярова, 2021).

Викладення основних результатів дослідження. Властивості мікробних поверхнево-активних речовин в основному визначаються їх типом (гліко-, рамно-, софоро-, аміноліпіди), тому антиадгезивна активність різниться залежно від співвідношення компонентів у складі комплексу ПАР (Ceresa та ін., 2021).

Одним з факторів, що зумовлюють антиадгезивну активність аніонних мікробних аміноліпідів, є сили електростатичного відштовхування між негативно зарядженими вкритими ПАР поверхнями і негативним зарядом бактеріальних клітин (Jemil та ін., 2017). З іншого боку, антиадгезивна активність мікробних ПАР може бути зумовлена зниженням гідрофобності поверхні матеріалу і зміною поверхневого натягу (Giri, Ryu, Sukumaran, & Park, 2019).

За дії більшості мікробних поверхнево-активних речовин збільшується гідрофобність поверхні клітин тест-культур, ці зміни підвищують проникність клітинних мембран і зменшують заряд поверхні, перешкоджаючи адгезії мікроорганізмів (Bionda та ін., 2016).

У табл. 1 наведено дані щодо кількості клітин бактеріальних тест-культур, прикріплених до пластинок сталі, оброблених розчинами поверхнево-активних речовин, синтезованих *A. calcoaceticus* IMB B-7241 на гліцерині різного ступеня очищення за наявності біологічних індукторів.

Внесення в середовище з очищеним гліцерином і відходами виробництва біодизелю всіх типів індуктора (живі, інактивовані клітини, супернатант) супроводжувалося синтезом ПАР, після обробки розчинами яких (96 мкг/мл) адгезія клітин *B. subtilis* БТ-2, *P. vulgaris* ПА-12, *E. cloacae* С-8, *S. aureus* БМС-1 на сталі була значно нижчою, ніж на поверхнях, оброблених розчинами ПАР аналогічної концентрації, синтезованих без індукторів. Виявилося неочікуваним, що незалежно від наявності біологічних індукторів у середовищі культивування продуцента антиадгезивна активність ПАР, утворених *A. calcoaceticus* IMB B-7241 на відходах виробництва біодизелю, виявилася вищою порівняно з такою поверхнево-активних речовин, одержаних на очищеному гліцерині (адгезія 11—64 і 12—90% відповідно, див. табл. 1). У статті (Пирог, Іванов, & Ярова, 2021) ми акцентували увагу на тому, що використання як субстрату відходів виробництва біодизелю супроводжувалося зниженням антимікробної активності ПАР порівняно з такою препаратів, синтезованих на очищеному гліцерині. Такі результати узгоджуються з даними, наведеними у статтях (Jemil та ін., 2017; (Giri, Ryu, Sukumaran, & Park, 2019) і можуть свідчити про те, що антиадгезивна активність ПАР *A. calcoaceticus* IMB B-7241 забезпечується переважно іншими, ніж антимікробна активність, механізмами.

Дані, наведені у табл. 1, свідчать про те, що супернатант після вирощування *B. subtilis* БТ-2 виявився менш ефективним індуктором, ніж живі чи інактивовані клітини штаму БТ-2.

Подібні до наведених у табл. 1 закономірності спостерігалися під час дослідження адгезії бактеріальних тест-культур на пластинках лінолеуму після обробки розчинами ПАР, синтезованих *A. calcoaceticus* IMB B-7241 в різних

умовах культивування (табл. 2).

Таблиця 1. Адгезія бактерій на сталі після обробки розчинами поверхнево-активних речовин, синтезованих *A. calcoaceticus* IMB B-7241 за наявності біологічних індукторів

Субстрат для синтезу ПАР	Біологічний індуктор	Адгезія (%)			
		<i>Bacillus subtilis</i> БТ-2	<i>Proteus vulgaris</i> ПА-12	<i>Enterobacter cloacae</i> C-8	<i>Staphylococcus aureus</i> БМC-1
Очищений гліцерин	Контроль (без індуктора)	89	63	86	90
	Живі клітини <i>Bacillus subtilis</i> БТ-2	44	12	50	25
	Інактивовані клітини <i>Bacillus subtilis</i> БТ-2	67	12	50	25
	Супернатант	78	50	56	50
Відходи виробництва біодизелю	Контроль (без індуктора)	44	Н.в.	64	50
	Живі клітини <i>Bacillus subtilis</i> БТ-2	11	Н.в.	31	25
	Інактивовані клітини <i>Bacillus subtilis</i> БТ-2	11	Н.в.	52	25
	Супернатант	33	Н.в.	52	25

Примітка: концентрація ПАР становила 96 мкг/мл; н.в. — не визначали; під час визначення адгезії похибка не перевищувала 5%.

Таблиця 2. Вплив поверхнево-активних речовин, синтезованих *A. calcoaceticus* IMB B-7241 за наявності біологічних індукторів, на прикріплення бактерій до лінолеуму

Субстрат для синтезу ПАР	Біологічний індуктор	Адгезія (%)			
		<i>Bacillus subtilis</i> БТ-2	<i>Proteus vulgaris</i> ПА-12	<i>Enterobacter cloacae</i> C-8	<i>Staphylococcus aureus</i> БМC-1
1	2	3	4	5	6
Очищений гліцерин	Контроль (без індуктора)	90	76	62	83
	Живі клітини <i>Bacillus subtilis</i> БТ-2	30	20	28	33
	Інактивовані клітини <i>Bacillus subtilis</i> БТ-2	60	25	46	38
	Супернатант	70	50	56	40
Відходи виробництва біодизелю	Контроль (без індуктора)	Н.в.	96	75	33

Продовження таблиці 2

1	2	3	4	5	6
	Живі клітини <i>Bacillus subtilis</i> БТ-2	Н.в.	40	32	17
	Інактивовані клітини <i>Bacillus subtilis</i> БТ-2	Н.в.	70	39	17
	Супернатант	Н.в.	70	57	25

Примітка: концентрація ПАР становила 96 мкг/мл; н.в. — не визначали; під час визначення адгезії похибка не перевищувала 5%.

Так, по-перше, антиадгезивна активність поверхнево-активних речовин, одержаних на очищеному гліцерині і відходах виробництва біодизелю за наявності усіх типів індукторів, була вищою, ніж синтезованих у середовищі без індукторів (адгезія становила 33—96 і 17—70% відповідно). По-друге, ефект від використання як індуктора супернатанту був нижчим порівняно з внесенням у середовище культивування з гліцерином різного ступеня очищення живих та інактивованих клітин *B. subtilis* БТ-2.

Проте на відміну від наведених у табл. 1 даних про вищу антиадгезивну активність ПАР, синтезованих на відходах виробництва біодизелю (результати прикріплення бактеріальних тест-культур до сталі), адгезія клітин на лінолеумі, обробленому поверхнево-активними речовинами, синтезованими на гліцерині різного ступеня очищення була практично однаковою (17—96 і 20—90% відповідно). Такі результати свідчать про те, що антиадгезивна активність мікробних ПАР залежать від багатьох факторів, зокрема від типу абіотичної поверхні.

У табл. 1 і 2 наведено дані щодо адгезії бактеріальних тест-культур на сталі і лінолеумі, оброблених розчинами ПАР у концентрації 96 мкг/мл. За такої концентрації ПАР, синтезованих на очищеному гліцерині і відходах виробництва біодизелю за наявності живих та інактивованих клітин індуктора, адгезія клітин бактерій перебувала в межах від 11 до 70%. У той же час адгезія клітин дріжджів роду *Candida* на цих поверхнях становила 10—50% у разі використання для їх обробки утворених в аналогічних умовах препаратів з нижчою у 8 разів концентрацією ПАР (12 мкг/мл, табл. 3). Отже, антиадгезивна активність мікробних ПАР залежить не тільки від типу поверхні, а й від концентрації поверхнево-активних речовин.

Так само, як і адгезія бактеріальних тест-культур (див. табл. 1 і 2), адгезія дріжджів роду *Candida* (див. табл. 3) на абіотичних поверхнях, оброблених розчинами поверхнево-активних речовин, синтезованих за наявності біологічних індукторів, була нижчою, ніж після обробки ПАР, одержаних у середовищі без індуктора. Проте після обробки лінолеуму і сталі розчинами ПАР, утвореними на гліцерині різного ступеня очищення за наявності супернатанту, живих та інактивованих клітин *B. subtilis* БТ-2, адгезія клітин дріжджів знижувалася у 1,5—5,9 рази (див. табл. 3), тоді як адгезія бактеріальних клітин — всього в 1,1—4 рази (див. табл. 1 і 2) порівняно з показниками, встановленими для ПАР, синтезованих у середовищі без індукторів. Таким чином, антиадгезивна активність

мікробних ПАР залежить також і від типу тест-культур.

Таблиця 3. Адгезія дріжджів на абіотичних поверхнях, оброблених розчинами поверхнево-активних речовин, синтезованих *A. calcoaceticus* IMB B-7241 за наявності біологічних індукторів

Субстрат для синтезу ПАР	Біологічний індуктор	Адгезія (%)			
		<i>Candida tropicalis</i> PE-2		<i>Candida albicans</i> Д-6	
		сталь	лінолеум	сталь	лінолеум
Очищений гліцерин	Контроль (без індуктора)	50	33	83	86
	Живі клітини <i>Bacillus subtilis</i> БТ-2	10	18	14	23
	Інактивовані клітини <i>Bacillus subtilis</i> БТ-2	10	19	14	26
	Супернатант	30	24	17	28
Відходи виробництва біодизелю	Контроль (без індуктора)	90	64	54	68
	Живі клітини <i>Bacillus subtilis</i> БТ-2	40	15	12	13
	Інактивовані клітини <i>Bacillus subtilis</i> БТ-2	50	24	20	17
	Супернатант	70	42	36	18

Примітка: концентрація ПАР становила 12 мкг/мл; під час визначення адгезії похибка не перевищувала 5%.

Зазначимо, що в літературі є достатньо інформації про вплив біологічних індукторів (живих чи інактивованих клітин, або супернатанту) на антимікробну активність продуктів мікробного синтезу, проте в доступній літературі нам не вдалося знайти повідомлень про підвищення антиадгезивної активності метаболітів за наявності в середовищі культивування продуцента біологічних індукторів.

Наведені у цій статті результати узгоджуються з нашими попередніми дослідженнями про вплив біологічних індукторів на антиадгезивну активність поверхнево-активних речовин, синтезованих *Nocardia vaccinii* IMB B-7405 (Пирог, Скроцька, & Шевчук, 2020) і *Rhodococcus erythropolis* IMB Ac-5017 (Pirog, Kluchka, Skrotska, & Stabnikov, 2020; Пирог, Ключка, & Ключка, 2022) на різних субстратах. Так, у разі внесення в середовище культивування *N. vaccinii* IMB B-7405 з відходами виробництва біодизелю і відпрацьованою соняшниковою олією живих та інактивованих клітин *Escherichia coli* IEM-1 і *B. subtilis* БТ-2 спостерігали синтез поверхнево-активних речовин, після обробки якими в концентрації 40 мкг/мл адгезія бактеріальних тест-культур на полістиролі була на 16—23% нижчою порівняно з показниками, встановленими для ПАР, утвореними на середовищі без індукторів (Пирог, Скроцька, & Шевчук, 2020).

Внесення бактерій-індукторів у середовище культивування *R. erythropolis* IMB Ac-5017 з етанолом супроводжувалося утворенням ПАР, після обробки якими адгезія клітин *S. aureus* BMC-1 і *C. albicans* Д-6 на абіотичних поверхнях

становила 7—39 % і була нижчою, порівняно з використанням поверхнево-активних речовин, одержаних за відсутності індукторів (33—87%) (Pirog, Kluchka, Skrotska, & Stabnikov, 2020; Пирог, Ключка, & Ключка, 2022). У цих дослідженнях концентрація ПАР *R. erythropolis* IMB Ac-5017 становила 12—24 мкг/мл.

У попередніх дослідженнях (Пирог, Скроцька, & Шевчук, 2020; Pirog, Kluchka, Skrotska, & Stabnikov, 2020; Пирог, Ключка, & Ключка, 2022) як конкурентні мікроорганізми використовували живі та інактивовані клітини бактерій. Дані, наведені у цій статті, підтверджують можливість використання як індуктора супернатанту після вирощування *B. subtilis* БТ-2.

Зазначимо, що натеper у літературі є поодинокі відомості про антиадгезивну активність мікробних ПАР, синтезованих на очищеному гліцерині і відсутня інформація про такі біологічні властивості ПАР, утворених на відходах виробництва біодизелю.

У (Chebbi та ін., 2017) встановлено, що адгезія *Bacillus licheniformis* CAN55 та *Staphylococcus capitis* SH6 на полістиролі після обробки розчинами рамноліпідів (3125 мкг/мл), синтезованими *Pseudomonas aeruginosa* W10 на очищеному гліцерині, становила 15 та 35% відповідно.

Іншими дослідниками (Giri, Ryu, Sukumaran, & Park, 2019) показано, що адгезія клітин *S. aureus* ATCC 29523, *Salmonella typhimurium* ATCC 19430, *Bacillus cereus* MTCC 7190 на полістиролі, обробленому розчинами ліпопептидів (3000 мкг/мл), синтезованими *B. subtilis* VSG4 на очищеному гліцерині, перебувала в діапазоні 33—40%.

Дані, наведені у табл. 1—3, свідчать про те, що поверхнево-активні речовини *A. calcoaceticus* IMB B-7241, утворені як на очищеному гліцерині, так і на відходах виробництва біодизелю, є ефективнішими антиадгезивними агентами, ніж описані у працях (Chebbi та ін., 2017; Giri, Ryu, Sukumaran, & Park, 2019), оскільки вони проявляють антиадгезивну активність у значно нижчих концентраціях (12—96 мкг/мл).

Крім того, одержані результати вказують, що заміна очищеного гліцерину в середовищі культивування *A. calcoaceticus* IMB B-7241 на відходи виробництва біодизелю дає змогу, по-перше, підвищити рентабельність виробництва біодизелю, по-друге, утилізувати токсичні відходи, по-третє, одержати поверхнево-активні речовини з високою антиадгезивною активністю.

Висновки

Отже, в результаті проведеного дослідження встановлено можливість підвищення антиадгезивної активності поверхнево-активних речовин *A. calcoaceticus* IMB B-7241 внесенням у середовище культивування як з очищеним гліцерином, так і відходами виробництва біодизелю конкурентних бактерій *B. subtilis* БТ-2 у вигляді живих, інактивованих клітин або супернатанту.

Література

Пирог, Т. П., Іванов, М. С., Ярова, Г. А. (2021). Антимікробна активність поверхнево-активних речовин *Acinetobacter calcoaceticus* IMB B-7241, синтезованих за наявності біологічних індукторів. *Наукові праці НУХТ*, 27(4), 43–52. <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/36596>.

Пирог, Т. П., Ключка, І. В., Ключка, Л. В. (2022). Вплив інактивованих клітин конкурентних мікроорганізмів на біологічну активність поверхнево-активних речовин *Rhodococcus erythropolis* IMB Ас-5017. *Наукові праці НУХТ*, 28(2), 24—35. <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/37684>.

Пирог, Т. П., Скроцька, О. І., Шевчук, Т. А. (2020). Вплив біологічних індукторів на анти-мікробну, антиадгезивну активність та деструкцію біоплівки поверхнево-активними речовинами *Nocardia vaccinii* IMB В-7405. *Мікробіологічний журнал*, 82(3), 35—44. <https://doi.org/10.15407/microbiolj82.03.035>.

Abdelli, F., Jardak, M., Elloumi, J., Stien, D., Cherif, S., Mnif, S., Aifa, S. (2019). Antibacterial, anti-adherent and cytotoxic activities of surfactin(s) from a lipolytic strain *Bacillus safensis* F4. *Biodegradation*, 30, 287—300. <https://doi.org/10.1007/s10532-018-09865-4>.

Bharali P., Singh S. P., Dutta N., Gogoi S., Bora L. C., Debnath P., Konwar B. K. (2014). Biodiesel derived waste glycerol as an economic substrate for biosurfactant production using indigenous *Pseudomonas aeruginosa*. *RSC Advances*, 4(73): 38698—38706. <https://doi.org/10.1039/c4ra05594b>.

Bionda, N., Fleeman, R. M., Fuente-Núñez, C., Rodriguez, M. C., Refluveille, F., Shaw, L. N., Pastar, I., Davis, S. C., Hancock, R., Cudic, P. (2016). Identification of novel cyclic lipopeptides from a positional scanning combinatorial library with enhanced antibacterial and antibiofilm activities. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 108, 354—363. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2015.11.032>.

Ceresa, C., Fracchia, L., Fedeli, E., Porta, C., Banat, I. M. (2021). Recent advances in biomedical, therapeutic and pharmaceutical applications of microbial surfactants. *Pharmaceutics*, 13(4), 466. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13040466>.

Chebbi, A., Elshikh, M., Haque, F., Ahmed, S., Dobbin, S., Marchant, R., Sayadi, S., Chamkha, M., Banat, I. M. (2017). Rhamnolipids from *Pseudomonas aeruginosa* strain W10; as anti-biofilm/antibiofouling products for metal protection. *Journal of Basic Microbiology*, 57(5), 364—375. <https://doi.org/10.1002/jobm.201600658>.

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. *FEMS Microbiology Letters*, 367(10). <https://doi.org/10.1093/femsle/fnaa063>.

Jemil, N., Ben Ayed, H., Manresa, A., Nasri, M., Hmidet, N. (2017). Antioxidant properties, antimicrobial and anti-adhesive activities of DCS1 lipopeptides from *Bacillus methylotrophicus* DCS1. *BMC Microbiology*, 17(1), 144. <https://doi.org/10.1186/s12866-017-1050-2>.

Giri, S. S., Ryu, E., Sukumaran, V., Chang, P. S. (2019). Antioxidant, antibacterial, and antiadhesive activities of biosurfactants isolated from *Bacillus strains*. *Microbial Pathogenesis*, 132, 66—72. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2019.04.035>.

Li, F., Yan, S., Huang, Z., Gao, W., Zhang, S., Mo, S., Lin, S., Wang, J., Hu, Z., Zhang, Y. (2021). Inducing new bioactive metabolites production from coculture of *Pestalotiopsis* sp. and *Penicillium bialowiezense*. *Bioorganic Chemistry*, 110. <https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2021.104826>.

Marcelino, P. R. F., Gonçalves, F., Jimenez, I. M., Cameiro, B. C., Santos, B. B., da Silva, S. S. (2020). Sustainable Production of Biosurfactants and Their Applications. In *Lignocellulosic Biorefining Technologies*. John Wiley & Sons Ltd., 8, 159—184. <https://doi.org/10.1002/9781119568858.ch8>.

Ohadi, M., Forootanfar, H., Dehghannoudeh, G., Eslaminejad, T., Ameri, A., Shakibaie, M., Adeli-Sardou, M. (2020). Antimicrobial, anti-biofilm, and anti-proliferative activities of lipopeptide biosurfactant produced by *Acinetobacter junii* B6. *Microbial Pathogenesis*, 138. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2019.103806>.

Pirog, T., Kluchka, L., Skrotska, O., Stabnikov, V. (2020). The effect of co-cultivation of *Rhodococcus erythropolis* with other bacterial strains on biological activity of synthesized surface-active substances. *Enzyme and Microbial Technology*, 142. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2020.109677>.

Ribeiro, B. G., Guerra, J. M. C., Sarubbo, L. A. (2020). Biosurfactants: Production and applica-

tion prospects in the food industry. *Biotechnol Progress*, 36(5). <https://doi.org/10.1002/btpr.3030>.

Rufino, R. D., Luna, J. M., Sarubbo, L. A., Rodrigues, L. R., Teixeira, J. A., Campos-Takaki, G. M. (2011). Antimicrobial and anti-adhesive potential of a biosurfactant Rufisan produced by *Candida lipolytica* UCP 0988. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 84(1), 1—5. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2010.10.045>.

Yan, X., Gu, S., Cui, X., Shi, Y., Wen, S., Chen, H., Ge, J. (2019). Antimicrobial, anti-adhesive and anti-biofilm potential of biosurfactants isolated from *Pediococcus acidilactici* and *Lactobacillus plantarum* against *Staphylococcus aureus* CMCC26003. *Microbial Pathogenesis*, 127, 12—20. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2018.11.039>.

BIOTECHNOLOGY OF MICROBIAL POLYSACCHARIDES, PRODUCERS, USE, TECHNICAL AND ECONOMIC JUSTIFICATION OF XANTHAN PRODUCTION

V. Zomchak, N. Hrehirchak

National University of Food Technologies

Key words:

Microbial polysaccharides
Xanthan
Production, arthrosis
Osteoarthritis
Intra-articula injections
Various needs

Article history:

Received 11.07.2022
Received in revised form
26.07.2022
Accepted 17.08.2022

Corresponding author:

V. Zomchak

E-mail:

vika.zomchak@ukr.net

ABSTRACT

Polysaccharides are high-molecular compounds of the carbohydrates class. They consist of monosaccharide residues connected by glycosidic bonds. The molecular masses of polysaccharides range from several thousand (laminarin, inulin) to several million (hyaluronic acid, glycogen) and can be determined only tentatively, since individual polysaccharides are mixtures of components which differ in the degree of polymerization.

There are polysaccharides of various origins (plant, animal, microbial, etc.). In this regard, an interesting group of so-called microbial exopolysaccharides (EPS) are extracellular polymeric substances which are synthesized by bacteria, yeast, algae, and fungi and are used for various purposes.

The article provides information on the fields of use of microbial esopolysaccharides, in particular xanthan, and examines the features of its production with the help of *Xanthomonas campestris* bacteria. Special attention is focused on the use of this polysaccharide in medicine and new research in this field. Xanthan gum plays an important role in the pharmaceutical industry as a binder, thickener and emulsion stabilizer. Xanthan is also well known for its non-toxicity, excellent biocompatibility and properties as an immunological agent.

In addition, the presented material notes the effectiveness of using xanthan gum as intra-articular injections for osteoarthritis (OA). An analysis was made to ensure the annual need for the substance xanthan in the world for the treatment of osteoarthritis, — 67950 kg/year, taking into account the concentration of the active substance, the duration of the course of treatment and the number of patients in the world in 2019. At the same time, already known drugs for intra-articular therapy of osteoarthritis were taken into account - these are drugs containing hyaluronic acid, as well as corticosteroids.

БІОТЕХНОЛОГІЯ МІКРОБНИХ ПОЛІСАХАРИДІВ, ПРОДУЦЕНТИ, ВИКОРИСТАННЯ, ТЕХНІКО- ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИРОБНИЦТВА КСАНТАНУ

В. В. Зомчак, Н. М. Грегірчак

Національний університет харчових технологій

Полісахариди — це високомолекулярні сполуки з класу вуглеводів, що складаються із залишків моносахаридів, зв'язаних глікозидними зв'язками. Молекулярні маси полісахаридів коливаються в межах від декількох тисяч (ламінарин, інουλін) до декількох мільйонів (гіалуронова кислота, глікоген) і можуть бути визначені лише орієнтовно, оскільки індивідуальні полісахариди — це суміші компонентів, що різняться ступенем полімеризації.

Існують полісахариди різного походження (рослинного, тваринного, мікробного тощо). З огляду на це особливо цікава група так званих мікробних екзополісахаридів (ЕПС) — позаклітинних полімерних речовин, які синтезуються бактеріями, дріжджами, водоростями, грибами та використовуються для різних цілей.

У статті наведено інформацію щодо галузей використання мікробних езополісахаридів, зокрема ксантану, та розглянуто особливості його одержання за допомогою бактерій *Xanthomonas campestris*. Особливу увагу зосереджено на використанні цього полісахариду в медицині та нових дослідженнях у цій галузі. Ксантанова камедь відіграє важливу роль у фармацевтичній промисловості як сполучна речовина, загусник і стабілізатор емульсії. Ксантан також добре відомий своєю нетоксичністю, чудовою біосумісністю та властивістю як імунологічного агента.

Окрім цього, у представленому матеріалі відмічено ефективність використання ксантанової камеді як внутрішньосуглобових ін'єкцій при остеоартриті (ОА). Зроблено аналіз забезпечення річної потреби субстанції ксантану для лікування остеоартриту, — 67950 кг/рік, з урахуванням концентрації діючої речовини, тривалості курсу лікування та кількості хворих у світі станом на 2019 рік. При цьому було враховано вже відомі препарати для внутрішньосуглобової терапії остеоартриту — це лікарські засоби з вмістом гіалуронової кислоти, а також кортикостероїди.

Ключові слова: мікробні полісахариди, ксантан, продукування, артроз, остеоартрит, внутрішньосуглобові ін'єкції, різна потреба.

Постановка проблеми. Полісахариди — одна з найбільш значних та складних органічних сполук. До них відносять сполуки з більш ніж десяти мономерів, представлених моносахаридами.

Мікробні полісахариди — це розчинні або нерозчинні позаклітинні полімерні речовини, які синтезуються бактеріями, дріжджами, водоростями, грибами тощо

та використовуються для різних цілей (Angelin, & Kavitha, 2020).

Бактерії є найбільш часто використовуваним джерелом екзополісахаридів (ЕПС), оскільки вони швидко розмножуються, легко оновлюються і сумісні з більшістю методів виділення ЕПС.

Бактеріальні екзополісахариди — це високомолекулярні вуглеводні біополімери, які часто виділяються клітинами в позаклітинне середовище. Деякі бактеріальні ЕПС з цінними фізико-хімічними властивості вже були використані для біомедичних застосувань (Mohd Nadzir, Nurhayati, & Nguyen, 2021).

Бактеріальні ЕПС — це нещільно прикріплені шари слизу, які можна легко видалити з клітин. Штами, склад середовища та умови культури, такі як температура, рН і співвідношення вуглець/азот, визначають кількість ЕПС, що виробляється бактеріями (Mohd Nadzir, Nurhayati, & Nguyen, 2021).

До бактерій, які виробляють ЕПС, належать такі роди: *Acetobacter*, *Agrobacterium*, *Bacillus*, *Brenneria*, *Geobacillus*, *Gluconacetobacter*, *Halomonas*, *Lactobacillus*, *Rhizobium*, *Saccharomyces*, *Sarcina*, *Streptococcus*, *Xanthomonas* і *Zymomonas*. Пробиотичні бактерії (наприклад, *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Lactococcus*, *Bifidobacterium*, *Streptococcus* і *Enterococcus*) використовуються переважно для синтезу ЕПС.

Серед мікробних екзополісахаридів з біомедичним застосуванням відомі целюлоза, декстран, ксантанова камедь, гіалуронова кислота, альгінат, кефіран, гелан, леван і курдлан (Angelin, & Kavitha, 2020; Mohd Nadzir, Nurhayati, & Nguyen, 2021).

Полісахариди мають велике значення та практичне застосування. Мікробні полісахариди знайшли широке застосування у фармацевтичній, парфумерній, харчовій та інших галузях завдяки їхнім властивостям: в'язкості, реологічним характеристикам, здатності до набухання, взаємодії з іншими структурами. Їх використовують як гелеутворюючі агенти при виготовленні косметичних виробів, для створення гідрофільного буфера в кремах та як набухаючу речовину при виробництві кремів, шампунів, лосьйонів (Коновка, 2020).

Продуктування полісахаридів за допомогою мікроорганізмів набуло важливого промислового значення ще в другій половині ХХ століття. Одним із перших і на сьогодні найбільш вивченим з них є ксантан, що продукується бактеріями *Xanthomonas campestris* (Ahmad, Mustafa, & Che Man, 2014).

Саме тому дослідження біотехнології мікробних полісахаридів, зокрема ксантану, який має перспективи використання у медицині, є на сьогодні актуальною темою.

Метою пропонованого огляду є аналіз наукової літератури про перспективи біосинтезу ксантану та його використання у різних галузях, зокрема медичній, а також виготовлення гелю на основі ксантану, що в перспективі дасть змогу використовувати його для лікування остеоартриту.

Матеріали і методи. Дослідження біотехнологічних аспектів синтезу ЕПС, а також використання й техніко-економічне обґрунтування виробництва ксантану проводили шляхом аналізу наукових доробок за використання міжнародних систем цитування (National Center for Biotechnology Information,

PubMed, OUCI).

Викладення основних результатів дослідження — це мікробний екзополісахарид, що виробляється грамнегативною бактерією *Xanthomonas campestris* шляхом ферментації глюкози, сахарози або інших джерел вуглеводів.

При виборі біологічного агента для виробництва полісахариду ксантану потрібно враховувати вихід продукту, ціну та склад поживного середовища, а також тривалість культивування.

У табл. 1 наведено узагальнену інформацію щодо біологічних агентів для отримання полісахариду ксантану за допомогою різних штамів *Xanthomonas campestris*.

Таблиця 1. Особливості одержання полісахариду ксантану за допомогою бактерій роду *Xanthomonas*

Біологічний агент	Склад поживного середовища, г/л	Тривалість, год.	Концентрація, г/л	Особливості процесу біосинтезу	Умовна вартість 1 мг цільового продукту, грн/мг	Література
<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>Manihotis</i> 280-95	Сахароза, 50; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 0,2; KH_2PO_4 , 5,0; H_3BO_3 , 0,006; $(NH_4)_2SO_4$, 2,0; $FeCl_3$, 0,0024; $CaCl_2 \cdot 2H_2O$, 0,002; $ZnSO_4$, 0,002; лимонна кислота, 2,0	120	16,5	T = 29±1°C pH 7,0 ± 0,2	0,315	Luvielmo, Borges & Scamparini, 2016
<i>Xanthomonas campestris</i> LRE LP-1	Сахароза, 20; пептон, 2,4; KH_2PO_4 , 2; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 0,12; $CaCO_3$, 3; лимонна кислота, 0,4; фурфурол, 3	72	13		0,269	Kang та ін, 2019
<i>Xanthomonas campestris</i> XStI	Сахароза, 50; $NH_4H_2PO_4$, 1,5; KH_2PO_4 , 2,5; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 0,1	96	18,3		0,295	Barua, Alam & Ashrafee, 2016
<i>Xanthomonas campestris</i>	Мальтоза, 70,0; Пептон, 0,5; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 0,5; KH_2PO_4 , 1,0; Кукурудзяний екстракт, 1,0; Розчин мікроелементів TES, 10,0	80	40,65		0,157	Mohsin та ін 2021

Аналіз літературних джерел показав, що найвищий показник синтезу ксантану досягається при вирощуванні штаму *Xanthomonas campestris* (40,65 г/л), який є більшим порівняно з штамами *Xanthomonas campestris* XStI, *Xanthomonas campestris* pv. *manihotis* 280-95 та *Xanthomonas campestris* LRELP-1 — лише 18,286 г/л, 16,5 г/л та 13 г/л ксантану відповідно.

Тривалість культивування також є важливим показником при виборі біологіч-

ного агента. Штам *Xanthomonas campestris* культивують протягом 80 год, *Xanthomonas campestris* LREL-1 — 72 год, а найбільше часу для культивування необхідно *Xanthomonas campestris* XStl та *Xanthomonas campestris* pv. *manihotis* 280-95 — 90 та 120 год.

Узагальнивши дані, можна зробити висновок, що доцільнішим буде використання *Xanthomonas campestris*, оскільки вартість цільового продукту становить 0,157 грн/мг, вартість продукту, синтезованого штамами *Xanthomonas campestris* XStl та *Xanthomonas campestris* LREL-1, — 0,295 та 0,269 грн./мг відповідно, а найдорожчим є цільовий продукт, отриманий штамом *Xanthomonas campestris* pv. *Manihotis*, — 280-95, що складає 0,315 грн./мг.

Ксантанова камедь — найважливіший мікробний полісахарид, який був відкритий у 1950-х роках Аллен Розалінд Джінс з Міністерства сільського господарства США. Схвалення FDA у 1969 р. як нетоксичного та безпечного полімеру дало змогу використовувати ксантан як загусник і стабілізатор у багатьох харчових продуктах. У США промислове виробництво ксантану було розпочато ще на початку 1960-х років компанією Kelco Company (CP Kelco). У Європі компанії Jungbunzlauer Austria AG і Solvay під торгівельною назвою Rhodopol виробляють ксантанову камедь у промислових масштабах. З 2005 р. Китай став одним із найбільших виробників ксантану (Petri, 2015).

Унікальні, багатогранні властивості зумовлюють його широке використання в технології різноманітних харчових продуктів як згущувача, піноутворювача, драглетуєвача та плівкоутворювача, стабілізатора емульсій тощо (Ahmad, Mustafa, & Che Man, 2014).

Ксантан внесений до переліку дозволених харчових добавок, у тому числі в Україні, під індексом E415. Найважливішими функціональними характеристиками ксантану є здатність збільшувати в'язкість водних розчинів за малих концентрацій, розчинність у холодній і гарячій воді, стабільність у висококісломому стані, а також у системі заморожування-відтаювання (Ahmad, Mustafa, & Che Man, 2014).

Ксантанова камедь також позитивно впливає на технологічні властивості пшеничного борошна. Вченими з університету Путри (Малазія) (Ahmad, Mustafa, & Che Man, 2014) встановлено, що в присутності ЕПС змінюється клейковина, підвищується пружність, знижується розтяжність, збільшується водопоглинальна здатність і стійкість тіста. Показано зміни властивостей крохмалю за додавання мікробних полісахаридів, зокрема раніше фіксується початок і кінець його клейстеризації, збільшується в'язкість борошняної суспензії, а також підвищується стійкість крохмального клейстеру під час термічної та механічної дії (Ahmad, Mustafa, & Che Man, 2014).

У кондитерській галузі ксантан використовують для корегування консистенції збитих вершків. Zhao зі співавт. (Zhao, Zhao, & Cui, 2009) вдалось дослідити, що зі збільшенням рівня ксантанової камеді (до 0,1 %) консистенція збитих вершків збільшується. В іншому дослідженні, проведеному Simsek (Simsek, 2009) вказано, що застосування різних концентрацій ксантану впливає на утворення сиропу в охолодженому тісті. При збільшенні концентрації ксантану

утворення несприятливого сиропу помітно зменшується. Ксантан також бере участь у синтезі запатентованого комерційного продукту PGX® (Poly Glycople X®), потрібної суміші кон'яку глюкоманану, ксантанової камеді та альгінату натрію (Ahmad, Mustafa, & Che Man, 2014; Jindal, & Singh Khattar, 2018; Andhare, Chauhan, & Pathak, 2014).

Провівши ряд досліджень (Zhou та ін., 2014), вчені змогли встановити, що ксантан покращує колоїдну стабільність емульсій, в результаті чого термін придатності харчових емульсій олії у воді значно збільшується в присутності ксантану, оскільки в'язкість середовища безперервної фази (води) збільшується, сповільнюючи процес коалесценції та/або дозрівання Оствальда. Тобто покращується не тільки стабільність емульсії, але й зменшується кількість первинного емульгатора. Такі позитивні ефекти роблять ксантанову камедь чудовим стабілізатором емульсії в салатних заправках і соусах. Ксантанова камедь використовується в начинках для хлібобулочних виробів, щоб запобігти міграції води з начинки у випічку. Зовсім недавно ксантан був доданий до хлібобулочних виробів без глютену завдяки еластичності, яку він надає тісту.

Переваги використання ксантанової камеді як добавки в харчові рецептури також можна знайти в косметичних рецептурах, як, наприклад, у зубних пастах, лосьйонах і шампунях та в дерматологічних продуктах для збільшення їх стійкості, а також для полегшення суспендування інгредієнтів (Petri, 2015; Tabernero, & Cardea, 2020).

Ксантанова камедь має широкий діапазон застосувань, таких як упаковка харчових продуктів, фарби на водній основі, водні процедури, струминний інжекційний друк, туалетні приналежності, будівництво та будівельні матеріали тощо (Ahmad, Mustafa, & Che Man, 2014; Rana, & Upadhyay, 2020; Kumar, Rao, & Nan, 2018).

Ксантанова камедь також використовується у нафтовій промисловості, де є важливим компонентом для бурових розчинів на водній основі. Через свої реологічні властивості й термічну стабільність ксантанова камедь використовується для контролю реології бурового розчину разом із модифікованим крохмалем, який контролює втрату рідини буровими розчинами (Petri, 2015).

Мікробні ЕПС мають значне застосування також у фармацевтичній промисловості. Полісахариди, що використовуються в біомедицині, переважно бактеріального чи грибового походження, тому спрямовані на регуляцію імунітету, проти інфекцій та вірусів з протипухлинною, антикоагулянтною та гіполіпідемічною активністю (Chen, & Huang, 2018).

У біомедицинській/біотехнологічній галузі постійно досліджують нові можливості застосування ксантану через такі його реологічні властивості, як здатність утворювати високов'язкий розчин іонів при низьких зусиллях зсуву, високій псевдопластичності та високому значенні текучості. Розчин ксантану стабільний у широкому діапазоні температур (до 90 °C), концентрації солі та pH 2...11. Ці властивості ксантану привели до його використання для біомедичних застосувань, наприклад, доставки ліків і тканинної інженерії (Ahmad, Mustafa, & Che Man, 2014).

Властивості ксантану можна зрозуміти з точки зору неньютонівської поведінки, високого виходу в'язкості (навіть при низьких концентраціях), низької чутливості до змін солоності, стійкості до механічного руйнування, біологічного розкладу та навколишнього середовища. Єдиним обмеженням ксантанової камеді є повільна швидкість розчинення, яка може бути покращена деякими фізичними засобами (Ahmad, Mustafa, & Che Man, 2014).

Ксантан використовується для вивільнення ліків як допоміжна речовина в таблетках. У більшості випадків ксантанова камедь використовується в поєднанні з іншими полімерами, які сприяють досягненню бажаних властивостей (Petri, 2015).

Також ЕПС може бути успішно використаний як носій для ліків або біомолекул, зокрема тому, що має високу стабільність при низькому рН, захищаючи ліки в шлунку, тому вивільнення лікарського засобу можна легко контролювати за допомогою середнього рН (високе вивільнення в лужних умовах) та іонної сили (Petri, 2015).

Ксантанова камедь відіграє важливу роль у фармацевтичній промисловості як сполучна речовина, загусник і стабілізатор емульсії. Зовсім недавно, завдяки своїй нешкідливій природі та властивостям розрідження зсуву, гідрогеліксантанова камедь була досліджена як ін'єкційний каркас для цілей інженерії хрящової тканини (Kumar, Rao, & Han, 2018; Ng та ін. 2020).

Авторами статті (Villar-Padilla та ін., 2021) також показано, що ксантан можна використовувати для лікування вагінальних інфекцій, спричинених бактерією *Gardnerella vaginalis*.

Ксантан також добре відомий своєю нетоксичністю, чудовою біосумісністю та властивістю як імунологічного агента, наприклад, при використанні ксантанової камеді для підтримки рухливості в суглобі та зменшення дегенерації хряща. Внутрішньосуглобова ін'єкція ксантану (0,5—2,0 мас.%) є альтернативним методом лікування остеоартриту, оскільки він діє як еластичний амортизатор під час слабких ударних рухів суглоба і як в'язка мазь під час сильного удару (Petri, 2015).

Внутрішня ад'ювантна властивість ксантану може бути використана для покращення імунної відповіді інших агентів. Крім того, ксантан також застосовувався для протипухлинних ефектів, у біоадгезивних композиціях для інтраназальної імунізації вірусу грипу, а також у приготуванні субодинокової вакцини проти лептоспірозу (Kumar, Rao, & Han, 2018).

Велику увагу привертає зниження або обмеження молекулярної маси ксантанової камеді у вузьких межах. Наприклад, Han зі співавторами (Han та ін., 2017) повідомили, що низькомолекулярна ксантанова камедь може бути використана для лікування остеоартриту. Крім того, Чен та ін. (Chen та ін., 2017) виявили, що низькомолекулярна ксантанова камедь може пригнічувати апоптоз клітин, спричинений окисним стресом. Ксантанова камедь із нижчим діапазоном молекулярної маси може інгібувати руйнування матриксу хряща та апоптозхондроцитів (Shao та ін., 2019; Zhang та ін., 2019).

Отже, ксантанова камедь широко застосовується як стабілізуючий, емульгу-

ючий, згущуючий агент у фармакології, медицині, харчовій, нафтовидобувній, лакофарбовій, текстильній, парфумерній, гірничодобувній промисловості та сільському господарстві (Nordin та ін., 2020).

Перспективним є використання ксантау саме для лікування артрозу. Остеоартрит (ОА) — це захворювання суглобів, спричинене їх старінням або ожирінням. Багато досліджень на тваринах показали, що ін'єкції ксантауої камеді чинять захисну дію на хрящі, а також знімають біль, тож результати перспективні для майбутніх досліджень на людях (Nordin та ін., 2020).

Остеоартрит на сьогодні залишається найпоширенішою формою ураження суглобів та причиною непрацездатності населення в усьому світі. На жаль, досі відсутні радикальні методи, за допомогою яких можна було б зупинити "епідемію" ОА й повністю вилікувати пацієнтів із цим захворюванням (Барна, & Погребняк, 2019).

Згідно з даними Американського коледжу ревматології (American College of Rheumatology — ACR) за 2019 р., ця патологія, виявлена у близько 302 млн осіб у світі, є головною причиною інвалідності в пацієнтів літнього віку (Kolasinski та ін., 2020).

Поширеність і частота ОА варіює в усьому світі. Відомо, що частота ОА зростає з віком і досягає третини населення в похилому віці. Статистичні дані в США свідчать, що кількість хворих на ОА становить близько 21 млн осіб, що відповідає 7% населення країни, при цьому його поширеність вища серед осіб похилого віку. В Україні поширеність ОА, відповідно до статистичних даних за 2017 р., сягає більше 1 млн. хворих, що становить більше 3 тис. осіб з ОА на 100 тис. населення відповідно. Однак загалом, згідно зі статистичними даними, поширеність ОА серед дорослого населення в Україні нижча порівняно з Європою та Північною Америкою, що свідчить про низький рівень діагностики дорослого населення в нашій державі (Хиць, 2020).

Остеоартрит — це гетерогенна група дегенеративно-дистрофічних захворювань суглобів різної етіології, що призводять до виникнення в суглобах симптомів та ознак, які пов'язують зі змінами цілісності суглобового хряща, а також взаємопов'язані зміни у прилеглий кістці в місцях формування суглоба. ОА належить до групи прогресуючих захворювань, що спричиняють істотне обмеження функціональних можливостей, погіршення якості життя, втрату працездатності та ранню інвалідизацію хворих.

Останніми десятиліттями пильна увага вчених і клініцистів прикута до можливостей застосування симптоматичних або хворобомодифікуючих препаратів повільної дії — лікарських засобів, які потенційно здатні не лише впливати на симптоми ОА (передусім на біль), а й чинити тривалу структурно-модифікуючу дію на суглобовий хрящ (Барна, & Погребняк, 2019).

Внутрішньосуглобові (ВС) ін'єкції активно використовуються в лікуванні суглобів. Вони ефективні в терапії багатьох захворювань, які уражають хрящову тканину (артрози, бурсити, артрити, спондиліти). Внутрішньосуглобові ін'єкції застосовуються при болях у ліктьовому, колінному, променево-зап'ястному та будь-якому іншому суглобі. Вони усувають гострий запальний процес шляхом

введення знеболюючих, антибактеріальних, регенеруючих і протизапальних препаратів безпосередньо в суглобову порожнину.

У табл. 2 наведено інформацію про відомі препарати для внутрішньо-суглобової терапії остеоартриту.

Таблиця 2. Препарати для внутрішньосуглобових ін'єкцій

Назва препарату		Виробник	Форма випуску	Склад
Гіалуронова кислота	Нуарон	Donkookpharmaceuti- са, Південна Корея	Шприц по 2,5 мл	1 шприц (2,5 мл) містить 25 мг гіалуронової кислоти
	Профлекс	Delta Medical Promotions AG, Швейцарія	Шприц по 2,5 мл	1 мл гелю містить гіалуроната натрію 12 мг
	Профлекс ІНТРА	Delta Medical Promotions AG, Швейцарія	Шприц по 2/2,5/3 мл	1 мл гелю містить гіалуроната натрію 10/12/20 мг
	Гілган	Фідіа Фармасьютічі С.п.А., Італія	2 мл у скляному флаконі	2 мл розчину містять 20 мг натрієвої солі гіалуронової кислоти
Кортикостероїди	Депос	АТ "Фармак", Україна	Шприц по 1 мл Ампули по 1 мл	1 мл суспензії містить бетаметазону дипропіонату мікронізованого 6,43 мг, бетаметазону натрію фосфату 2,63 мг
	Гідрокортизону ацетат	АТ "Фармак", Україна	Ампули по 2 мл	1 мл суспензії містить гідрокортизону ацетату у перерахуванні на 100% суху речовину 25 мг
	Диспроспан	Для шприців: СЕНЕКСІ HSC — ЕРУВІЛЬ СЕНТ КЛЕР, Франція Для ампул: Шерінг-Плау Лабо Н.В., Бельгія	Шприц по 1 мл Ампули по 1 мл	1 мл суспензії містить 6,43 мг бетаметазону дипропіонату (еквівалентно 5 мг бетаметазону) та 2,63 мг бетаметазону натрію фосфату (еквівалентно 2 мг бетаметазону)
	Флостерон	КРКА, д.д., Ново место	Ампули по 1 мл	1 мл суспензії (1 ампула) містить 2 мг бетаметазону у вигляді бетаметазону динатрію фосфату і 5 мг бетаметазону у вигляді бетаметазону дипропіонату
	Целестон	"Schering-Plough Labo N.V." "Schering-Plough Corporation" для "Schering-Plough Central East AG", Бельгія/США/Швейцарія	Ампули по 1 мл	1 мл розчину містить бетаметазону натрію фосфату 5,3 мг (еквівалентно 4,0 мг бетаметазону)

Проаналізувавши дані табл. 2, можна зробити висновок, що на фармацевтичному ринку внутрішньосуглобової терапії ОА представлені лікарські засоби (ЛЗ), які можна поділити на дві категорії: ЛЗ з вмістом гіалуронової кислоти та

кортикостероїди.

Найчастіше в суглоб вводять препарати кортикостероїдних гормонів (дипропан, флостерон, целестон). Перевага кортикостероїдів полягає в тому, що вони швидко й ефективно усувають біль і запалення. Саме швидкість, з якою досягається лікувальний ефект, причина того, що кортикостероїдні ін'єкції завоювали особливу популярність.

Кортикостероїдні препарати застосовують при сильно вираженому болю в людини, що страждає артрозом. Вони дуже ефективні при запальних захворюваннях суглобів. Але якщо хвороба викликана травмою, кортикостероїди мало ефективні. Кортикостероїди — гормональні препарати, тому їх не рекомендується застосовувати у великих кількостях.

Усередині суглоба між хрящовими поверхнями знаходиться суглобова рідина, яка виконує такі функції: змащення суглоба для покращення ковзання і рухливості, захист поверхні хряща від сточування, функція буфера і захист від ударів, забезпечення хрящової оболонки живильними речовинами. При артрозі зниження в'язкості суглобової рідини призводить до порушення функцій суглоба. Зменшується не лише якість рідини, а й кількість.

Гіалуронова кислота надає внутрішньосуглобовій рідині в'язку консистенцію і таким чином сприяє ковзанню. Введена в суглоб гіалуронова кислота забезпечує змащення суглоба. Дія препарату проявляється лише в суглобі та його капсулі. Також стимулюється самовиробництво організмом гіалуронової кислоти. Препарати гіалуронової кислоти можна вводити практично в будь-які суглоби людини (Kumar, Rao, & Nan, 2018).

Внутрішньосуглобове введення гіалуронової кислоти вважається ефективним лікуванням остеоартриту. Однак гіалуронова кислота нестабільна і схильна до швидкого руйнування внаслідок гідролітичних або ферментативних реакцій. Для кращої альтернативи було підготовлено внутрішньосуглобове введення ксантану, яке може захистити хрящ у суглобі і зменшити прогресування остеоартриту, завдяки його схожій реології та в'язкості, що й у гіалуронової кислоти (Kumar, Rao, & Nan, 2018).

Отже, лікування внутрішньосуглобовими ін'єкціями є одним з основних методів лікування ОА через його позитивний ефект зменшення болю в суглобах та збільшення рухливості суглоба. Ін'єкція ксантанової камеді може захистити суглобовий хрящ, полегшити синовіт і зменшити прогресування ОА. Ін'єкції ксантану мають тривалий ефект у порожнині суглоба, що дає змогу уникнути частого застосування (Huang, & Guanying, 2012).

Оскільки найбільшу увагу в медицині ксантан привертає для лікування артрозу, то для розрахунку орієнтовної річної потреби за основу беремо виробництво одержання ін'єкцій ксантану, які використовують для внутрішньосуглобового лікування ОА. Оскільки препарат розроблено на основі проведених експериментальних досліджень і йому немає аналогів, то при розрахунку потужності буде враховуватись світова потреба у цьому препараті.

Вихідні дані для розрахунку потреби наведено в табл. 3.

Таблиця 3. Вихідні дані для розрахунку річної потреби в ксантані для одержання ін'єкції

Захворювання	Частота ін'єкцій на місяць	Тривалість курсу лікування, тижнів	Кількість ксантану в 1 мл, мг	Кількість ксантану в 1 ампулі, мг	Кількість ксантану на одну людину, мг	Кількість хворих у світі станом на 2019 р.	Загальна кількість ксантану на всіх хворих, кг
Остеоартрит	2	5	10	75	225	302 млн	67950

Вміст ксантану в препараті складає 0,5—2,0%. Для точного визначення концентрації були проведені дослідження (Song та ін., 2019), які показали, що вміст ксантану з більшою концентрацією дає кращий антиадгезійний ефект, проте розчини з концентрацією 2 % або вище мають труднощі з розчиненням, підготовкою та наповненням. Отже, було обрано оптимальний розчин з вмістом ксантану — 1% (тобто 10 мг в 1 мл).

При внутрішньосуглобовому введенні 1% ксантану у колінний суглоб вводять 0,1 мл розчину на 1 кг маси тіла. Оскільки середня вага дорослої людини близько 75 кг, то на 1 людину необхідно 7,5 мл розчину (Huarong, & Guanying, 2012).

Згідно з експериментальними моделями застосування препарату, курс лікування остеоартриту становить 5 тижнів, з частотою ін'єкцій 1 раз на 2 тижні (Petri, 2015; Huarong, & Guanying, 2012). Розрахунок річної потреби ін'єкцій (Huarong, & Guanying, 2012):

$0,5 \text{ разів в тиждень} \times 5 \text{ тижнів} = 3 \text{ ампули на курс};$

$3 \text{ ампули} \times 75 \text{ мг} = 225 \text{ мг ксантану на курс лікування.}$

За даними, наведеними у літературних джерелах, у світі на остеоартрит хворіє 302000000 людей (Huarong & Guanying, 2012). Тоді

$302000000 \text{ людей} \times 225 \text{ мг/людину} = 67950000000 \text{ мг/рік} =$
 $= 67950 \text{ кг/рік ксантану.}$

Отже, річна потреба ксантану для лікування остеоартриту становить 67950 кг/рік.

Висновки

Отже, ксантан має широкі перспективи використання у різноманітних галузях. На сьогодні є ряд публікацій, в яких досліджуються перспективи використання ксантану у біофармацевтичній галузі, що значно розширює можливості ксантану при лікуванні ряду захворювань. У статті було розраховано потребу в субстанції ксантану для лікування остеоартриту у світі з урахуванням потреби.

При оптимізації технологічного виробництва ксантану за участі високопродуктивних штамів *Xanthomonas campestris* pv. *manihotis* 280-95, *Xanthomonas campestris* LREL-1, *Xanthomonas campestris* XStI та *Xanthomonas campestris* важливим є розрахунок потреби в субстанції ксантану та аналіз фармацевтичного ринку щодо препаратів для лікування внутрішньосуглобових інфекцій.

За проведенням техніко-економічним аналізом визначено, що річна потреба

субстанції ксантану, отриманого біотехнологічним способом для лікування остеоартриту, становить близько 70 т на рік.

Література

Барна, О., Погребняк, О. (2019). Ефективність комбінації глюкозаміну сульфату та хондроїтину сульфату в лікуванні остеоартриту з позицій доказової медицини. *Ліки України*, 8(234), 7—15. [https://doi.org/10.37987/1997-9894.2019.8\(234\).187139](https://doi.org/10.37987/1997-9894.2019.8(234).187139).

Коновка, А. (2020). Полісахариди клітинних стінок бактерій, *Збірник наукових праць молодих учених, аспірантів та студентів*. Одеса : ОНАХТ, 2020. С. 27—29. <https://card-file.ontu.edu.ua/handle/123456789/17727>.

Хиць, А. (2020). Остеоартрит: сучасна концепція розвитку. Взято з <https://www.umj.com.ua/article/187467/osteoartrit-suchasna-kontseptsiya-rozvitku>.

Ahmad, N., Mustafa, S., Che Man, Y. (2014). Microbial Polysaccharides and Their Modification Approaches: A Review. *International Journal of Food Properties*, 18(2), 332—347. doi:10.1080/10942912.2012.693561.

Andhare, P., Chauhan, K., Dave, M., Pathak, H. (2014). Microbial exopolysaccharides: advances in applications and future prospects. *Microbial Biotechnology*, 3, 1—25. DOI:10.13140/RG.2.1.3518.4484.

Angelin, J., Kavitha, M. (2020). Exopolysaccharides from probiotic bacteria and their health potential. *International Journal of Biological Macromolecules*, 162, 853—865. doi:10.1016/j.ijbiomac.2020.06.190.

Barua, R., Alam, J., Salim, M., Ashrafee, T. (2016). Small scale production and characterization of xanthan gum synthesized by local isolates of *Xanthomonas campestris*. *Indian Journal Experimental Biology*, 54(2), 151—5.

Chen, L., Huang, G. (2018). Antitumor Activity of Polysaccharides: An Overview. *Current Drug Targets*, 19(1), 89—96. doi:10.2174/1389450118666170704143018.

Chen, Q., Shao, X., Ling, P., Liu, F., Shao, H., Ma, A., ... Wang, F. (2017). Low molecular weight xanthan gum suppresses oxidative stress-induced apoptosis in rabbit chondrocytes. *Carbohydrate Polymers*, 169, 255—263. doi:10.1016/j.carbpol.2017.04.018.

Han, G., Chen, Q., Liu, F., Cui, Z., Shao, H., Liu, F., ... Mei, X. (2017). Low molecular weight xanthan gum for treating osteoarthritis. *Carbohydrate Polymers*, 15(164), 386—395. doi: 10.1016/j.carbpol.2017.01.101.

Huarong, S., Guanying, H. (2012). Intra-articular injection of xanthan gum: A potential therapy for osteoarthritis. *Advances in Bioscience and Biotechnology*, 3(4), 5. DOI:10.4236/abb.2012.324063.

Jindal, N., Singh Khattar, J. (2018). Microbial Polysaccharides in Food Industry. *Biopolymers for Food Design*, 95—123. doi:10.1016/b978-0-12-811449-0.00004-9.

Kang, Y., Li, P., Zeng, X., Chen, X., Xie, Y., Zeng, Y., ... Xie, T. (2019). Biosynthesis, structure and antioxidant activities of xanthan gum from *Xanthomonas campestris* with additional furfural. *Carbohydrate Polymers*, 216(15), 369—375. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.04.018>.

Kolasinski, S., Neogi, T., Hochberg, M., Oatis, C., Guyatt G., Block J., ... Reston J. (2020). American College of Rheumatology / Arthritis Foundation Guideline for the Management of Osteoarthritis of the Hand, Hip, and Knee. *Arthritis Care Res (Hoboken)*, 72(2), 149—162.

Kumar, A., Rao, K., Han, S. (2018). Application of xanthan gum as polysaccharide in tissue engineering: A review. *Carbohydrate Polymers*, 180, 128—144. doi:10.1016/j.carbpol.2017.10.009.

Luviemo, M., Borges, M., Toyama, C., Vendruscolo, D., Scamparini, C., (2016). Structure of xanthan gum and cell ultrastructure at different times of alkali stress. *Brazilian Journal of Microbiology*, 47(1), 102—109. doi:10.1016/j.bjm.2015.11.006.

Mohd Nadzir, M., Nurhayati, R., Idris, F., Nguyen, M. (2021). Biomedical Applications of Bacterial Exopolysaccharides: A Review. *Carbohydrate Polymers*, 13(4), 530. doi: 10.3390/polym13040530.

- Mohsin, A., Akyliyaevna, K., Zaman, W., Hussain, M., Mohsin M., Al-Rashed S., ... Guo, M. (2021). Kinetically modelled approach of xanthan production using different carbon sources: A study on molecular weight and rheological properties of xanthan. *International Journal of Biological Macromolecules*, 193, 1226—1236. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.10.163>.
- Ng, J., Obuobi, S., Chua, M., Zhang, C., Hong, S., Kumar, Y., Rachel, P. (2020). Biomimicry of microbial polysaccharide hydrogels for tissue engineering and regenerative medicine — A review. *Carbohydrate Polymers*, 241, 116345. doi:10.1016/j.carbpol.2020.116345.
- Nordin, N., Rashidi, A., Dailin, D., Abd Malek, R., Wan Azelee, N., Abd Manas, N., ... El Enshasy, H. (2020). Xanthan Biopolymer in Pharmaceutical and Cosmeceutical Applications. *Bioscience Research*, 17, 205—220.
- Petri, D. (2015). Xanthan gum: A versatile biopolymer for biomedical and technological applications. *Journal of Applied Polymer Science*, 132(23), 173. doi:10.1002/app.42035.
- Rana, S., Upadhyay, L. (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.
- Shao, X., Chen, Q., Dou, X., Chen, L., Wu, J., Zhang, W., ... Wang, F. (2018). Lower range of molecular weight of xanthan gum inhibits cartilage matrix destruction via intrinsic bax-mitochondria cytochrome c-caspase pathway. *Carbohydrate Polymers*, 198, 354—363. doi: 10.1016/j.carbpol.2018.06.108.
- Simsek, S. (2009). Application of xanthan gum for reducing syrupe in refrigerated doughs. *Food Hydrocolloids*, 23(8), 2354—2358. doi:10.1016/j.foodhyd.2009.06.017.
- Song, Z., Zhang, Y., Shao, H., Ying, Y., Chen, X., Mei, L., ... Liu, F. (2019). Effect of xanthan gum on the prevention of intra-abdominal adhesion in rats. *International Journal of Biological Macromolecules*, (126), 531—538. doi:10.1016/j.ijbiomac.2018.12.2.
- Tabemero, A., Cardea, S. (2020). Supercritical carbon dioxide techniques for processing microbial exopolysaccharides used in biomedical applications. *Materials Science and Engineering*, 112, 110940. doi:10.1016/j.msec.2020.110940.
- Villar-Padilla, A., Prado-Audelo, M., González-Torres, M., Giraldo-Gomez, D., Caballero-Florán, I., Carmen M., ... Leyva-Gómez, G. (2021). Development of a xanthan gum film for the possible treatment of vaginal infections. *Cellular and Molecular Biology*, 67(1), 80—88. doi: <http://dx.doi.org/10.14715/cmb/2021.67.1.12>.
- Zhang, W., Wu, J., Zhang, F., Dou, X., Ma, A., Zhang, X., ... Han, G. (2019). Lower range of molecular weight of xanthan gum inhibits apoptosis of chondrocytes through MAPK signaling pathways. *International Journal of Biological Macromolecules*, 130, 79—87. doi:10.1016/j.ijbiomac.2019.01.07.
- Zhao, Q., Zhao, M., Yang, B., Cui, C. (2009). Effect of xanthan gum on the physical properties and textural characteristics of whipped cream. *Food Chemistry*, 116(3), 624—628. doi: 10.1016/j.foodchem.2009.02.07.
- Zhou, W., Hui, Y., De Leyn, I., Pagani, M., Rosell, C., Selman, J., Therdthai, N. (2014). Bakery Products Science and Technology. doi:10.1002/9781118792001. Взято з <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118792001>.

INNOVATIVE TECHNOLOGY OF PRODUCTION DRY FORMS OF PROTEIN-FRUIT COMPOSITIONS USING SPRAY DRYING METHOD

K. Maletska, T. Turchyna, L. Avdeieiva, A. Makarenko

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine

Key words:

Spray drying

Powder

Fruit juices

Milk proteins

Hydrodynamic processing

Article history:

Received 15.07.2022

Received in revised form

29.07.2022

Accepted 16.08.2022

Corresponding author:

K. Maletska

E-mail:

tbds_ittf@ukr.net

ABSTRACT

A new concept of thermal technology for obtaining powder form of protein-fruit compositions by the spray drying method is proposed in the article. In addition, the results of its approbation in industrial conditions were shown. Fruit and fruit-berry raw materials are characterized by high biological value, but the seasonality of production. To increase the shelf life of such raw materials, various methods including spray drying are used. Unfortunately, due to the peculiarities of the physical and chemical composition, this raw material belongs to difficult materials for drying. Therefore, the development of drying technology requires the use of special substances and processing techniques. In this work, it was proposed to create a composition of fruit and fruit-berry raw materials with whey proteins. Studies showed that the creation of such composition will improve the rheological properties of the liquid system, the processes of structure formation, heat-moisture transfer, and the thermal stability of the system during spray dehydration. To carry out the preparation of the liquid composition for drying and stabilization of their physical and chemical parameters, the use of the principle of discrete-pulse energy input is proposed. For this purpose, a rotary-pulsation apparatus of the cylindrical type was used. Rational heat-technological parameters for drying protein-fruit compositions were determined, taking into account their thermophysical and physicochemical characteristics.

Approbation of technology was conducted on an industrial spray dryer with a capacity of 150 kg/h of evaporated moisture. Experimental batches of powders of various compositions (more than 300 kg in total) with high structural-mechanical and organoleptic properties were obtained. The quality of the powder corresponded to the quality of the used raw materials. The obtained powder was used in the production of confectionery, restorative drinks, souffles, and soft types of ice cream.

As a result, the organization of the production of new powder products for health and medical and preventive purposes from fruit, fruit-berry juices, and proteins of secondary milk raw materials at milk processing enterprises of Ukraine is proposed.

DOI: 10.24263/2225-2924-2022-28-3-7

ІННОВАЦІЙНА ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА СУХОЇ ФОРМИ БІЛКОВО-ФРУКТОВИХ КОМПОЗИЦІЙ МЕТОДОМ РОЗПИЛЮВАЛЬНОГО СУШІННЯ

К. Д. Малецька, Т. Я. Турчина, Л. Ю. Авдєєва, А. А. Макаренко

Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України

У статті запропоновано нову концепцію теплотехнології отримання порошкової форми білково-фруктових композицій методом розпилювального сушіння і результати її апробації у промислових умовах.

Фруктова і плодово-ягідна сировина характеризується високою біологічною цінністю, але сезонністю виробництва. Для збільшення терміну зберігання такої сировини використовують різні методи, в т.ч. розпилювальне сушіння. На жаль, ця сировина через особливості фізико-хімічного складу відноситься до важкосохнучих матеріалів, тому при розробленні теплотехнології сушіння вимагає використання спеціальних речовин і прийомів обробки. Запропоновано створити композицію фруктової і плодово-ягідної сировини з білками підсирної сироватки. Дослідження показали, що створення такої композиції дасть змогу покращити реологічні властивості рідинної системи, процеси структуроутворення, тепловологопереносу і термостійкість системи при розпилювальному зневодненні. Для здійснення підготовки рідкої композиції до сушіння і стабілізації їх фізико-хімічних показників запропоновано застосування механізмів дискретно-імпульсного введення енергії. Для цього був використаний роторно-пульсаційний апарат циліндричного типу. Рациональні теплотехнологічні параметри сушіння білково-фруктових композицій визначались з урахуванням їх теплофізичних і фізико-хімічних особливостей.

Апробація технології здійснювалась на промисловій розпилювальній сушарці продуктивністю 150 кг/год по випареній волозі. Одержані дослідні партії порошків різного складу (всього понад 300 кг) з високими структурно-механічними й органолептичними властивостями апробовані на підприємствах м. Києва і України при виготовленні кондитерських виробів, відновлювальних напоїв, суфле та м'яких видів морозива.

У результаті комплексу експериментальних досліджень і промислових випробувань запропоновано організацію виробництва нових порошкових продуктів оздоровчого та лікувально-профілактичного призначення з фруктових, плодово-ягідних соків і білків вторинної молочної сировини на молокопереробних підприємствах України.

Ключові слова: розпилювальне сушіння, порошок, фруктові соки, молочні білки, гідродинамічна обробка.

Постановка проблеми. При розробці та впровадженні нових технологій харчових продуктів поряд з якістю, безпечністю і поживністю висувуються підви-

щені вимоги до їхніх оздоровчих, лікувально-профілактичних, зокрема імуностимулюючих властивостей.

Для виробництва продуктів і добавок, здатних виконувати функції оздоровчої дії, пріоритети віддаються натуральній сировині рослинного й тваринного походження без застосування будь-яких синтетичних і хімічних добавок. У зв'язку з цим білковий потенціал вторинної молочної сировини (знежиреного молока, підсирної сироватки) та плодово-ягідної сировини, що містить велику кількість природних комплексів біоактивних речовин і мінеральних елементів, набувають особливого значення як основи для виробництва продуктів оздоровчого призначення.

Вирощування плодових, фруктових та ягідних культур є традиційним для сільського господарства України. При наявному рівні виробництва цієї продукції в Україні існують значні проблеми її транспортування, швидкої реалізації, зберігання та переробки. Через брак умов для належного зберігання щорічно втрачається 30% врожаю (Кернасюк, 2022), тому промислова переробка значної частини вирощеної плодово-ягідної продукції є економічно доцільною і актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Фрукти та ягоди, які є основним джерелом необхідних для людини біоактивних речовин, характеризуються сезонністю, тому задоволення добових потреб організму виключно за рахунок традиційного харчування впродовж усього року є практично неможливим. З огляду на невідповідність харчування переважної кількості людей потребам організму щодо вживання багатьох біологічно активних речовин (БАР): білків, вітамінів, макро- і мікроелементів, зокрема селену, цинку, заліза та ін. речовин, світові лідери постачання продуктів харчування створюють нові програми та стратегії здорового харчування, спираючись на натуральність і безпечність сировини, а також збалансованість і корисність готової продукції (Sloan, 2018; Nair, Chattopadhyay, & Saha, 2019; Korhonen, 2002; Coates, Paul, Blackman, & Blackman, 2004; Simme, Gonzales-Velarde, Neale, & Escobar-Saldivar, 2010; Skopenko, & Tikhonova, 2013; Шафалюк, 2009).

Промислова переробка фруктово-ягідної сировини дає змогу раціонально використовувати цінний потенціал сільськогосподарської продукції нового врожаю, зменшувати її втрати й одержувати високоякісну харчову продукцію тривалого терміну зберігання (Тележенко, & Безусов, 2004; Флауменбаум, Безусов, Сторожук, & Хомич, 2006). Переробка свіжого врожаю надає можливість рівномірно забезпечувати населення цінними біоактивними речовинами природного походження впродовж року і створювати їх резерви. Саме тому концентрати і сухі порошки з натуральної плодово-ягідної сировини можуть використовуватись як добавки для збагачення кондитерських, молочних, кисломолочних, хлібобулочних та інших видів виробів. Завдяки таким добавкам виникають можливості для розширення асортименту продукції промислових підприємств, покращення їхніх органолептичних характеристик і, головне, підвищення їх біологічної цінності за рахунок біоактивного потенціалу використаної рослинної сировини.

Перевагами сухої форми продуктів з плодово-ягідної сировини є швидке відновлення, збереження великої кількості БАР, значне зменшення об'єму,

можливість використання різних видів споживчого і транспортного пакування, висока транспортабельність без застосування спеціального термо- або холодообладнання тощо. На сьогодні в Україні широко використовується різні методи переробки плодово-ягідної сировини на суху порошкову форму (Mujumdar, 2006; Dolinsky, Maletskaya, & Snezkin, 2000; Петрова, 2021; Долинский, & Малецкая, 2011; Долинский, & Малецкая, 2015). Серед великої кількості відомих методів сушіння широке розповсюдження в харчовій, хімічній, хіміко-фармацевтичній та ін. галузях промисловості отримав метод розпилювального сушіння. Завдяки короткочасності термічному впливу на матеріал при зневодненні з одночасним збереженням важливих його біоактивних компонентів, можливості управляти якісними, структурно-механічними та органолептичними характеристиками отриманих порошків і значні промислові об'єми цей метод має значні переваги перед іншими (Долинский, & Малецкая, 2011). Крім того, великий вибір розпилювальних сушильних установок різної продуктивності розширює можливості їх використання на підприємствах різної потужності (Долинский, & Малецкая, 2015).

Найбільші об'єми плодових фруктів, що вирощуються в Україні, належать яблукам, переважна кількість яких надходить до плодоконсервних підприємств, де переробляється на концентрати соків з подальшим їх використанням у різних харчових технологіях. За медико-біологічними даними (Тележенко, & Безусов, 2004; Флауменбаум, Безусов, Сторожук, & Хомич, 2006) плоди яблук і яблучний сік характеризуються значною Р-вітамінною активністю, є джерелом цінних мінеральних речовин, зокрема заліза, органічних кислот, пектину та комплексу вітамінів. Такі багаті на біоактивні речовини плоди яблук та продукти на їх основі в наш час рекомендовані для профілактики різних захворювань. Зокрема, комплекс розчинних пектинових та інших біоактивних речовин, які потрапляють до віджатих з плодів яблук соків, поліпшують обмін речовин і сприяють виведенню отруйних, канцерогенних речовин, важких металів та холестерину з організму людини.

Як відомо (Dolinsky, Maletskaya, & Snezkin, 2000; Долинский, & Малецкая, 2011; Турчина, 2008), одержання порошків «чистих» соків або соків з м'якоттю методом розпилювання є проблематичним через належність їх до розряду так званих "важкосохнучих" матеріалів, які проявляють термопластичні (адгезійні) властивості в камері розпилювальної сушарки і гігроскопічні — у стані висушених дисперсних порошків, що ускладнює умови їх зберігання у сипкому стані і використання в різних технологічних процесах. За результатами численних наукових та експериментальних досліджень основними чинниками, що перешкоджають процесу зневоднення фруктових та ягідних соків методом розпилювання, є органічні кислоти, які незалежно від вмісту білків, полісахаридів, пектинів та інших речовин у складі соків негативно впливають на внутрішні процеси теплового переносу та структуроутворення при зневодненні і, головне, є причиною низької температури плавлення цих порошків. Саме термопластичність порошків призводить до утворення адгезійних відкладень на стінках камери і проблем транспортування порошку до циклону і приймальної ємності. Накопичення на стінках камери шару порошку, який через гігроскопічність і викликані цим когезійні явища агломерується та втрачає сипкість, обумовлює зменшення

його виходу, зниження якості та скорочення терміну зберігання (Долинский, & Малецкая, 2011; Долинский, & Малецкая, 2015; Турчина, 2008).

За даними (Долинский, & Малецкая, 2011; Долинский, & Малецкая, 2015; Bastos, Gonçalves, Andrade, de Lima Araujo, & Rocha-Leão, 2012) вирішення цих проблем можливе при поєднанні соків з білками тваринного або рослинного походження в єдиній композиції. Застосування білків тваринного походження у композиціях з яблучним або ягідними соками сприяє підвищенню термостійкості матеріалу, покращенню його структуроутворюючих і паропровідних властивостей, а також мікрокапсулюванню біологічно активних складових соків в об'ємі висушуваних мікрочастинок при розпилювальному сушінні (Bastos, Gonçalves, Andrade, de Lima Araujo, & Rocha-Leão, 2012; Долінський, Турчина, & Жукотський, 2015). При сушінні фруктово- та ягідно-білкових композицій, у яких вміст концентрату підсирної сироватки складає $\geq 50\text{—}60\%$, відмічалось покращення структурно-механічних характеристик порошків. За відсутності відкладень у камері сушарки їх вихід складає $\geq 92\%$, а кінцева вологість — $2\text{—}3\%$. Такі порошки без явних ознак гігроскопічності зберігали сипкий стан доволі тривалий час (понад 1 рік) (Долинский, & Малецкая, 2015).

За даними (Долинский, & Малецкая, 2015), як з технологічної точки зору, так і за смаковими якостями висушеного порошку найбільш прийнятними наповнювачами для фруктових і ягідних соків виявились білки підсирної сироватки (КСБ), отримані методом ультрафільтрації і виготовлені на підприємствах України. До складу концентрату підсирної сироватки (КСБ) входять: $50\text{—}60\%$ білків у перерахунку на суху речовину, майже 35% лактози, решта — мінеральні речовини та інші компоненти підсирної сироватки. Наші дослідження показали, що завдяки вказаному складу і рівню $\text{pH} = 5,5$ білки КСБ не були схильні до коагуляції в середовищі фруктового (яблучного) соку, pH якого складало $3,3$. Важливим було ще й те, що в композиціях соків з КСБ присмак молочного білка практично не проявлявся.

У технологіях розпилювального сушіння складних термопластичних матеріалів, де застосовуються структуруючі добавки, велике значення має стадія підготовки рідинної системи до сушіння. А за численними даними (Долинский, & Малецкая, 2015; Долінський, Турчина, & Жукотський, 2015; Долинский, & Басок, 2005; Dolinsky, 2000) гідродинамічна обробка складних за вмістом і властивостями рідинних систем, зокрема композицій білків із соками, в умовах дискретно-імпульсного введення енергії (ДІВЕ-обробки) в роторно-пульсаційному апараті циліндричного типу виявляється найбільш ефективною і швидкісною.

При розпилювальному сушінні соків та інших продуктів яскравої природної органолептики важливо забезпечити збереження ароматичних і смакових якостей використаної сировини. Як відомо (Долинский, & Малецкая, 2015), збереженість летких ароматичних речовин значною мірою зростає зі збільшенням вмісту сухих речовин у вихідному рідкому продукті, що досягається також за рахунок введення добавок-наповнювачів. Тому при підготовці композиції до сушіння слід забезпечити максимально допустиму концентрацію сухих речовин, при якій в'язкість не перешкоджатиме формуванню крапель у факелі розпили.

Тож створення інноваційних технологій із застосуванням ефективних методів

обробки композицій з плодово-ягідної та вторинної молочної сировини для виробництва порошкової форми високоякісних харчових продуктів підвищеної біологічної цінності з вираженими оздоровчими та імуностимулюючими властивостями є своєчасним і актуальним завданням.

Мета дослідження: за результатами наукових та експериментальних досліджень представити концепцію інноваційної теплотехнології одержання порошкових білково-фруктових продуктів оздоровчого призначення методом розпилювального сушіння і провести апробацію інноваційної теплотехнології у промислових умовах.

Матеріали і методи. Для проведення апробації технології одержання порошків білково-фруктових композицій у промислових умовах використовували такі продукти:

- концентрат яблучного соку (КЯС) з вмістом сухих речовин 78% згідно з ДСТУ ISO 8128-2:2014 Сік яблучний, концентрати соків яблук і напої, що містять сік яблука;

- соки буряка (БС), чорної смородини (СЧС) та обліпіхи (СО) як барвників згідно з ДСТУ 9126:2021 Соки фруктові. Концентровані. Технічні умови; ДСТУ 4150:2003. Соки, напої сокові, нектари плодово-ягідні, овочеві та з баштанних культур. Загальні технічні умови (61125);

- концентрат сироваткового білка після ультрафільтрації (КСБ-УФ) згідно з ДСТУ 4458:2005. Концентрати білкові молочні. Технічні умови.

Масова частка сухих речовин у рідкому продукті визначалася за ДСТУ 7804:2015 Продукти перероблення фруктів та овочів. Методи визначення сухих речовин або вологи.

Кінцева вологість порошку, отриманого на експериментальній розпилювальній сушарці РЦ-1.3, визначалась згідно з ДСТУ 8574:2015 Продукти молочні. Методи визначення масової частки вологи в молочних сухих та згущених консервах.

Підготовка рідких композицій до розпилювального сушіння: змішування, диспергування та гомогенізація суміші вихідних білкових компонентів та фруктово-ягідної сировини (соків) здійснювалась на роторно-пульсаційному апараті (РПА) циліндричного типу (Долинский, & Малецкая, 2015; Долинский, & Басок, 2005; Dolinsky, 2000).

Апробацію технології проводили на розпилювальній сушильній установці А1-АРС продуктивністю 150 кг/год по випареній волозі (Долинский, & Малецкая, 2011), оснащений спеціальною системою сепарації, транспортування та охолодження порошку за допомогою додатково підведеного осушеного повітря, пневмоспірального охолоджувача та комплексу циклонного обладнання.

Викладення основних результатів дослідження. Дослідження фруктових або ягідних соків як об'єктів розпилювального сушіння, які через значний вплив наявних органічних кислот і полісахаридів на процеси структуроутворення та фізичний стан висушуваних часток, показали доцільність поєднання їх з білками вторинних молочних продуктів як ефективних структуруючих і термостабілізуючих добавок. Численні експериментальні дослідження кінетики сушіння модельних крапель білково-фруктових композицій у системі «крапля-парагозове середовище» (Долинский, & Малецкая, 2011; Долинский, & Малецкая, 2015) та

процесу розпилювального сушіння на експериментальний розпилювальний сушарці продуктивністю 10 кг/год по випареній волозі (Малецька та ін., 2021) дали змогу визначити такі вимоги до рідкої білково-фруктової композиції як об'єкта розпилювального сушіння:

- показники кислотності рідкої композиції мають бути на рівні рН 4—5 для зменшення впливу на її термічні характеристики при сушінні;
- вміст білків у складі білково-фруктових композицій має перевищувати вміст сухих речовин соків, що визначається кислотністю використаного соку для покращення умов структурування і зміцнення структури часток при зневодненні, інтенсифікації вологопереносу і покращення якості порошкового продукту;
- максимальне збільшення вмісту сухих речовин у вихідній рідинній системі має відбуватись з урахуванням її реологічних властивостей для стабілізації процесів розпилювання, сушіння та покращення органолептичних характеристик порошкового продукту.

Виконання всіх цих вимог сприяє підвищенню ефективності висушування порошків білково-фруктових та білково-ягідних композицій до низької кінцевої вологості. А завдяки покращенню структурно-механічних, дисперсійних і морфологічних характеристик одержаного порошку дає змогу максимально збільшити вільний вихід порошку до приймальної ємності (до 92—95%) і подовжити термін його зберігання до 1—2 років.

Аналіз великого комплексу експериментальних досліджень (Малецька та ін., 2021), проведених в Інституті технічної теплофізики НАН України, надає можливість запропонувати нову концепцію інноваційної теплотехнології, яка базується на таких принципових положеннях:

- *формування рідинної системи на I стадії — підготовки до розпилювального сушіння*, як показано на рисунку, з відповідними вихідними характеристиками (співвідношення складових білків та соків, C_0 , рН, T_p) на основі виключно натуральної сировини рослинного (фруктово-овочеві, плодово-ягідні соки або пюре) і тваринного (білки підсирної сироватки або знежиреного молока) походження без синтетичних або хімічних добавок. Подачу складових компонентів композиції (упарених соків та КСБ-УФ) до роторно-пульсаційного апарата (РПА) доцільно проводити з урахуванням їх фізико-хімічних і реологічних характеристик. Завдяки конструктивним особливостям РПА, окрім високої ефективності процесів змішування, диспергування та гомогенізації забезпечується взаємодія складових речовин білкових і фруктових продуктів у рідкому середовищі композиції з утворенням білково-полісахаридних комплексів, які при розпилювальному сушінні виконують функцію структуроутворюючого матеріалу. Швидкоплинні та короткочасні фізико-хімічні процеси, що відбуваються в об'ємі рідинної системи під час її перебування в робочому органі РПА, сприяють зниженню і стабілізації показників її кислотності, консервуванню дискретних біоактивних речовин сировинного матеріалу в рідкому середовищі композиції, а також їх інкапсуляції в об'ємі часток порошку в процесі їхнього розпилювального сушіння завдяки формуванню доволі міцної структури їх поверхневого шару із залученням розчинних речовин щойно утворених білково-полісахаридних комплексів;

- висушування методом розпилювання на II стадії принципової схеми (див. рис.), яка передбачає:

- тип камери — циліндро-конічний з усіченим конусом, оснащеним системою термостатування стінок камери та обертовою рамою для їх очищення від порошку і подальшого видалення;
- верхня подача нагрітого у теплогенераторі теплоносія;
- відбір відпрацьованого вологого теплоносія із середини камери;

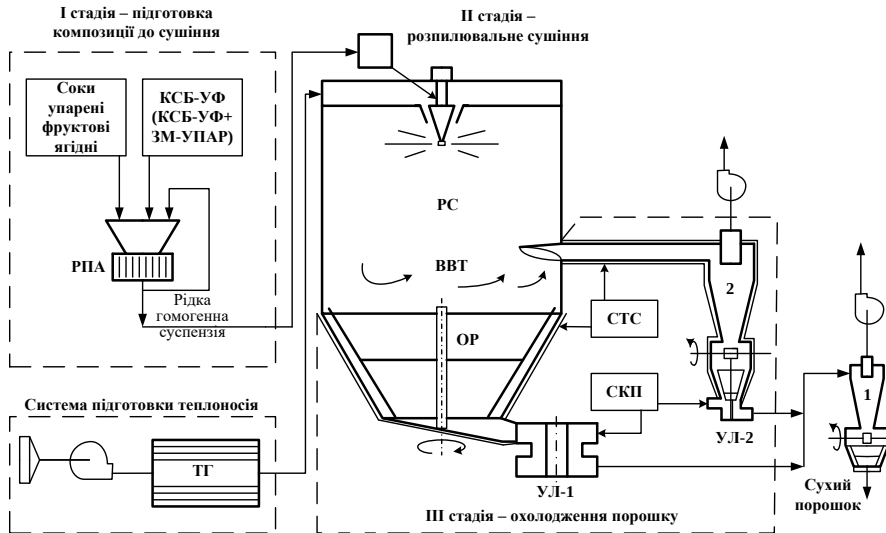


Рис. Принципова апаратурно-технологічна схема виробництва порошкових білково-фруктових композицій: ВВТ – відбір відпрацьованого теплоносія; ОР – обертова рама; РС – розпилювальна сушильна камера; РПА – роторно-пульсаційний апарат; СКП – система кондиціонування повітря; СТС – система термостатування; ТГ – теплогенератор; УЛ-1, УЛ-2 – вихрові охолоджувачі порошку; 1, 2 – циклон

- поступове охолодження порошку на III стадії принципової схеми (див. рис.) у режимі безперервного перемішування в камері сушарки та поза її межами, що сприяє одержанню порошку кінцевої вологості до 2—3% та уникненню відкладень на її стінках. Охолоджений у такий спосіб порошок характеризується покращеними сипкими властивостями, що сприяє своєчасному вилученню його із зони термічного впливу в камері сушарки і збереженню таким чином цінних біоактивних речовин вихідної сировини в кінцевому порошковому продукті та збільшенню терміну його зберігання.

Наукове обґрунтування раціональних теплотехнологічних режимних параметрів запропонованої інноваційної технології вимагало проведення її апробації у промислових умовах. Для проведення комплексу технологічних процесів на промисловому обладнанні було розроблено і затверджено нормативно-технічну документацію на виробництво сухої форми білково-фруктових композицій.

Промислова апробація інноваційної технології одержання білково-фруктових

порошків була успішно проведена на одному з молокопереробних підприємств України. Вибір підприємства визначався наявністю промислової розпилювальної сушарки А1-АРЧ та ультрафільтраційної установки, на якій здійснювався процес концентрування підсирної сироватки (КСБ-УФ). За таких умов стало можливим складання нових композиційних продуктів для подальшої гідродинамічної обробки, для чого був використаний роторно-пульсаційний апарат (розробка ІТТФ НАН України). Для розпилювального сушіння були підготовлені такі композиції:

1) КСБ + КЯС — з концентрату підсирної сироватки, щойно отриманого після ультрафільтрації ($C_{\text{улар}} = 25\%$), і концентрату яблучного соку, отриманого з плодоконсервного комбінату (Україна);

2) КСБ + КЯС + БС — того ж складу з натуральним барвником (буряковим соком — БС);

3) КСБ + КЯС + СЧС — того ж складу із соком чорної смородини (СЧС);

4) КСБ + КЯС + СО — того ж складу із соком обліпихи (СО).

Стадія підготовки рідкої композиції до сушіння. Важливим аспектом на цій стадії технологічного процесу було використання окремо підготовлених концентратів соку та вторинного молочного продукту (КСБ). Для забезпечення необхідних показників кислотності рідкого середовища у встановленому діапазоні (рН 4—5) змішування компонентів суміші здійснювалось за умов одночасної їх подачі до роторно-пульсаційного апарата. В результаті ДІВЕ-обробки рідких композицій, яка відбувалась у режимі рециркуляції протягом кількох хвилин, одержувались гомогенні газорідні емульсії об'ємної густини 600—700 кг/м³.

Як показали ці та інші наші дослідження, в результаті такої швидкісної гідродинамічної обробки відбувається спінювання рідинної системи перед розпилювальним сушінням, що, на наш погляд, сприяє значному поліпшенню органолептичних якостей (зокрема, смакових) порошкових композиційних продуктів, у складі яких містяться вторинні молочні білки. Завдяки саме спіненому стану газорідних емульсій досягалась, на наш погляд, інтенсифікація процесів тепломасопереносу при розпилювальному сушінні, що сприяло скороченню часу термічного впливу та збереженню термочутливих біоактивних складових компонентів білково-фруктових композицій.

Стадії розпилювального сушіння та охолодження порошку білково-фруктових композицій здійснювались на зазначеній вище розпилювальній сушарці продуктивністю 150 кг/год по випареній волозі, яка включала:

- систему підготовки теплоносія з електрокалориферами для нагрівання атмосферного повітря;

- систему охолодження висушеного порошку із застосуванням додатково підведеного кондиціонованого охолоджуючого повітря, спрямованого на стінки камери через сопла «пневмомітли», та окремо підведеного осушеного охолоджуючого повітря, що подавалось до пневмоспирального вихрового охолоджувача.

Перевагами такої сушарки є її конструктивні рішення для своєчасної евакуації порошку з камери та його охолодження в рухомому стані при постійному перемішуванні безпосередньо в камері за допомогою:

- обертової «пневмомітли», крізь сопла якої подавалось кондиціоноване

повітря для обдуву стінок камери, змітання порошку та його охолодження;
 - обертового короба-очищувача, призначеного для видалення висушеного порошку з пологого днища і спрямування його крізь вивантажний отвір сушарки до пневмотранспортного повітроводу;

та поза межами сушильної камери за допомогою:

- системи охолодження порошку, яка включала пневмотранспортний повітровід і пневмоспіральний теплообмінник-охолоджувач, призначений для остаточного його охолодження за допомогою додатково підведеного кондиціонованого повітря.

Процес сушіння здійснювався при температурі теплоносія на вході в камеру 180—185 °С і на виході з камери — 88—92 °С у стабільному режимі подачі розпилювальним пристроєм газорідинної емульсії до потоку високотемпературного теплоносія, що надходив до камери сушарки. В результаті тепломасообміну між крапельками мікронних розмірів і теплоносієм уже на виході з факела розпилу утворювався тонкий дисперсний порошок, який у складі двофазного потоку рухався донизу вздовж стінок камери.

За допомогою обертової "пневмомітли" й обертового короба-очищувача порошок видалявся з камери і після остаточного охолодження у вихровому теплообміннику спрямовувався на сепарацію і вивантаження.

Для визначення показників якості, отриманих у результаті напрацювання композиції сухих порошоків, були проведені відповідні дослідження. Результати представлені в таблиці. Завдяки високим сипким властивостям, про що свідчать структурно-механічні характеристики порошоків (кут природного укосу, насипна густина), наведені в таблиці, забезпечувався високий вихід порошкових продуктів усіх білково-фруктових композицій до приймальної ємності, який складав ≥ 92 —95%.

Одержані партії порошоків з достатньо низкою кінцевою вологістю (2,8—3,4%) зберігались у сипкому стані тривалий час (див. табл.).

Таблиця. Характеристики білково-фруктових порошоків, одержаних методом розпилювального сушіння за інноваційною технологією

Соки, використані у білково-фруктових композиціях	Кінцева вологість, %	Кут укосу, град.	Насипна густина, кг/м ³	Органолептичні характеристики		Термін зберігання
				Смак і запах	Колір	
Яблучний	2,8—3,4	31—33	0,65—0,73	Молочний з приємним фруктовим ароматом та присмаком	бежевий	≥ 1 року
Яблучний, буяковий					рожевий	
Яблучний, чорносмородиновий					бузковий	
Яблучний, обліпиховий					жовтий	

Висновки

Порошкові білково-фруктові композиції, одержані за інноваційною технологією у промислових умовах, були використані у виготовленні різних видів хар-

чових продуктів:

- м'яких видів морозива на фризерних апаратах у кафетеріях (м. Київ);
- поживних білково-фруктових коктейлів або суфле у кафетеріях (м. Київ);
- білково-фруктових драже, капсул і таблеток на вітамінному заводі (м. Умань).

При дегустації у співпраці з фахівцями Київського національного торговельно-економічного університету (КНТЕУ) та Інституту садівництва НААН України (м. Київ) збагачених білково-фруктовими порошками виробів відмічались привабливі їх смакові якості, аромат і забарвленість з ніжними відтінками світло-рожевого, світло-жовтого і бузкового, що відповідали ознакам використаної у композиціях фруктово-ягідної сировини.

За результатами проведеного комплексу досліджень запропоновано нову науково обґрунтовану концепцію порошкових продуктів оздоровчого призначення, засновану на створенні білково-фруктових і білково-ягідних композицій.

Представлено апаратурно-технологічну схему інноваційної теплотехнології одержання порошкової форми продуктів з фруктових і/або ягідних соків з білками вторинних молочних продуктів, композиції з яких перед розпилювальним висушуванням проходять гідродинамічну обробку в роторно-пульсаційному апараті (ДІВЕ-обробку), а порошок після висушування підлягає поступовому охолодженню в режимі перемішування у камері сушарки та поза її межами. Встановлено, що завдяки таким заходам досягається високий вихід з сушарки порошку з кінцевою вологістю < 4% і терміном зберігання понад рік.

За результатами апробації інноваційної теплотехнології одержання порошкової форми білково-фруктових композицій у промислових умовах підтверджено доцільність принципових положень запропонованої концепції.

Організацію виробництва порошкової форми продуктів оздоровчого призначення доцільно здійснювати у прив'язці до існуючого на молокопереробних підприємствах України розпилювального сушильного обладнання.

Література

Долинский, А. А., Басок, Б. И. (2005). Наномасштабные эффекты при дискретно-импульсной трансформации энергии. *Инженерно-физический журнал*, 78(1), 15—22.

Долинский, А. А., Малецкая, К. Д. (2011). *Распылительная сушка. В 2-х т. Т. 1. Теплофизические основы. Методы интенсификации и энергосбережения*. Киев: Академперіодика.

Долинский А. А., Малецкая, К. Д. (2015). *Распылительная сушка. В 2-х т. Т. 2. Теплотехнологии и оборудование для получения порошковых материалов*. Киев: Академперіодика.

Долинський, А. А., Турчина, Т. Я., Жукотський, Е. К. (2015). Сучасні методи впливу на структуруючі властивості складних матеріалів як об'єктів розпилювального сушіння. *Мікро- і нанорівневі процеси в технологіях ДІВЕ. Тем. сб. статей*. Київ: Академперіодика, 351—357.

Кернасюк, Ю. (2022). Глобальна продовольча безпека: старі проблеми, нові виклики та ефективні рішення. Взято з <https://www.growthow.in.ua/hlobalna-prodovolcha-bezpeka-stari-problemy-novi-vyglyky-ta-efektyvni-rishennia/>.

Малецька, К. Д., Турчина, Т. Я., Жукотський, Е. К., Авдєєва, Л. Ю., Декуша, Г. В., Макаренко, А. А. (2021). Теплотехнології нових порошкових продуктів з натуральної рослинної сировини. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*, 26(6), 94—99.

Петрова, Ж. О. (2021). Інноваційні технології виробництва функціональних рослинних порошків. *Енергоефективність процесів сушіння. Тематичний збірник статей у 2-х томах*.

Т. 2. Київ: «Тропеа», 25—32.

Тележенко, Л. Н., Безусов, А. Т. (2004). *Биологически активные вещества фруктов и овощей и их сохранение при переработке*. Одесса: Оптимум.

Турчина, Т. Я. (2008). Фізико-хімічний склад і структуруюча здатність рослинних матеріалів для розпилювального сушіння. *Харчова промисловість*, 5, 17—20.

Флауменбаум, Б. Л., Безусов, А. Т., Сторожук, В. М., Хомич, Г. П. (2006). *Фізико-хімічні і біологічні основи консервного виробництва*. Одеса: Друк.

Шафалюк, О. К. (2009). Сучасні підходи в оптимізації асортиментних портфелів та архітектури брендів підприємств на прикладі молочної галузі. *Маркетинг в Україні*, 6, 49—58.

Bastos, Daniele, Gonçalves, Maria, Andrade, Cristina, de Lima Araujo, Katia, Rocha-Leão, Maria Helena. (2012). Microencapsulation of cashew apple (*Anacardium occidentale*, L.) juice using a new chitosan-commercial bovine whey protein isolate system in spray drying. *Food and Bioprocess Technology*, 90, 683—692. Doi: 10.1016/j.fbp.2012.04.005.

Coates, P. M., Paul, M. C., Blackman, M. & Blackman, M. R. (Eds.). (2004). *Encyclopedia of Dietary Supplements* (Online) (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b13959>.

Dolinsky, A. A., Maletska, K. D., Snezhkin, Y. (2000). Fruit and vegetable powders production technology on the bases of spray and convective drying methods. *Drying technology*, 18(3), 747—758.

Dolinsky, A. A. (2000). Discrete-pulse technologies and equipment for preparation of solutions and pastes prior to drying. *Book of Abstracts of 12th International Drying Symposium*, 55.

Korhonen, H. (2002). Technology options for new nutritional concepts. *Int J of Dairy Technology*, 55(2), 79—88. doi: 10.1046/j.1471-0307.2002.00050.

Mujumdar, A. S. (Ed.). (2006). *Hand book of Industrial Drying* (3 rd ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420017618>.

Nair, A., Chattopadhyay, D., Saha, B. (2019). *New Look to Phytomedicine: Plant-derived immunomodulators*. USA: Academic Press.

Simme Douwe, P. Flapper, Gonzales-Velarde, J. L., Neale, R. Smith, Escobar-Saldivar, L. J. (2010). On the optimal product assortment: Comparing product and customer based strategies. *International Journal of Production Economical*, 125(1), 167—172.

Skopenko, N. Tikhonova, A. (2013). Rational assortment portfolio in accordance to the food security. *Ukrainian Food Journal*, 2(4), 612—617.

Sloan, E. (2018). Top 10 functional food trends. *Food Technology Magazine*, 72(4). Available from: <https://www.ift.org/news-and-publications/food-technology-magazine/issues/2018/april/features/top-10-functional-food-trends-2018>.

CHANGE IN THE GRANULOMETRICAL COMPOSITION OF SUSPENSIONS OF MEDICINAL AND COSMETIC PRODUCTS DURING PROCESSING IN A BEAD MILL

K. Hrininh, M. Desyk

National University of Food Technologies

Key words:

*Granulometric
Particle
Grinding
Beads
Mill
Suspension*

Article history:

Received 03.07.2022
Received in revised form
19.07.2022
Accepted 13.08.2022

Corresponding author:

K. Hrininh
E-mail:
neackriss@gmail.com

ABSTRACT

The main task of the ultrafine grinding process is reducing the size of solid phase particles in microheterogeneous systems. However, in connection with the rapid development of the pharmaceutical, cosmetic, ceramic and other industries, this condition is not enough, it is also necessary to ensure a uniform distribution of particles by size within the required range.

It is studied the change in the particle size composition of medical and cosmetic suspensions during processing in a bead mill. Suspensions according to two recipes were ground on an experimental unit — a laboratory bead mill of periodic action. Suspensions based on castor refined oil Ph. Eur. and iron oxide pigment "Red 120" were chosen as model samples. The change in particle size composition and the degree of grinding were researched by light microscopy using a digital monocular camera.

A curve of the degree of grinding during grinding shows that the compositions of the suspensions within the studied range are actively grinded. The resulting particle size distribution diagrams illustrate the dynamics of the formation of a monodisperse system.

The curve of the degree of grinding and the size distribution diagrams demonstrates that suspensions with a higher content of the solid phase are crushed more intensively and have a more pronounced monodispersity. It can be concluded that for the production of medicinal and cosmetic products it is advisable to use formulations of suspensions which have a higher concentration of the solid phase in their composition.

The obtained results of studies on changes in the granulometric composition of suspensions allow monitoring and adjusting the necessary parameters of the ultrafine grinding process to achieve the required product quality.

ЗМІНА ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ СУСПЕНЗІЙ ЛІКАРСЬКИХ І КОСМЕТИЧНИХ ЗАСОБІВ ПІД ЧАС ОБРОБЛЕННЯ У БІСЕРНОМУ МЛИНІ

К. Р. Грінінг, М. Г. Десик

Національний університет харчових технологій

Основним завданням процесу надтонкого подрібнення є зменшення розміру частинок твердої фази у мікрогетерогенних системах. Однак через бурхливий розвиток фармацевтичної, косметичної, керамічної та інших галузей промисловості цієї умови недостатньо, необхідно також забезпечувати рівномірний розподіл частинок за розмірами в межах потрібного діапазону.

Досліджено зміну гранулометричного складу суспензій лікарських і косметичних засобів під час оброблення у бісерному млині. Суспензії за двома рецептурами подрібнювали на експериментальному стенді — лабораторному бісерному млині періодичної дії. Як модельні тіла було обрано суспензії на основі рицинової олії рафінованої Ph. Eur. та пігменту залізоокисного «Червоний 120». Зміну гранулометричного складу та ступінь перетиру досліджували методом світлової мікроскопії з використанням цифрової монокулярної камери.

Побудовано криву ступеня перетиру під час подрібнення, яка свідчить, що композиції суспензій у межах досліджуваного діапазону активно подрібнюються. Отримані діаграми розподілу розмірів частинок ілюструють динаміку утворення монодисперсної системи.

Крива ступеня перетиру та діаграми розподілу розмірів демонструють, що суспензії з більшим вмістом твердої фази подрібнюються більш інтенсивно та мають більш виражену монодисперсність. Відповідно, для виробництва лікарських і косметичних засобів доцільно застосовувати рецептури суспензій, які мають більшу концентрацію твердої фази у своєму складі.

Отримані результати досліджень зміни гранулометричного складу суспензій дають змогу відслідковувати та коригувати необхідні параметри процесу надтонкого подрібнення для досягнення необхідної якості продукту.

Ключові слова: *гранулометричний склад, частинка, подрібнення, бісер, млин, суспензія.*

Постановка проблеми. Розвиток фармацевтичної індустрії у напрямку розробки та впровадження найбільш ефективних і безпечних лікарських препаратів є пріоритетним напрямком для багатьох провідних країн світу і найвідоміших фармакологічних компаній (Доровський, 2014; Ivanov et al., 2021). Вимоги до якості фармацевтичної, косметичної, керамічної та інших галузей промисловості призвели до збільшення попиту на все більш і більш дрібні компоненти твердої фази засобу з жорсткішими характеристиками не тільки за середнім діаметром частинок, але й розкиданням розподілу частинок за розмірами (Varinot, Berthiaux, & Dodds, 1993).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Процес надтонкого подрібнен-

ня — складний і високоенергетичний процес, основним завданням якого є зменшення розміру частинок твердої фази у мікрогетерогенних системах, таких як суспензії, емульсії, порошки тощо, який потребує більш глибокого дослідження (Ogonowski, Wołosiewicz-Głab, Ogonowski, Foszcz, & Pawełczyk, 2018).

Varinot та ін. (Varinot, Berthiaux, & Dodds, 1993) проводили дослідження впливу робочих параметрів швидкості мішалки, концентрації твердих частинок, діаметра гранул на гранулометричний склад продукту, отриманого у вологому тонкодисперсному водному розчині.

Результати дослідження показали, що робочі параметри (швидкість мішалки, концентрація твердих частинок у суспензії, діаметр кульок) більшою мірою впливають на контроль середнього діаметра продукту, що отримується під час мокрого тонкого подрібнення в бісерному млині, але не дають змоги контролювати розподілення розміру продукту (Varinot, Berthiaux, & Dodds, 1993).

Flach та ін. (Flach et al., 2019) досліджували оптимізацію процесів мокрого подрібнення волокнистих рослинних матеріалів. Показано, як зменшується розмір частинок, тенденція до повторної агломерації (злипання) та стабільність суспензії визначає питому енергію, час перебування, температуру та наявність поверхнево-активних речовин під час процесу подрібнення. Було виявлено, що застосовуваний процес мокрого подрібнення визначає стабільність частинок суспензій протягом подальшої переробки, роблячи процес подрібнення основною операцією блоку щодо продуктивності та рецептури харчових та інших продуктів, що містять мікронізовані частинки (Flach et al., 2019).

Jimbo та ін. (Jimbo et al., 1992) демонструють, що за будь-якого процесу подрібнення існує граничний розмір, нижче якого неможливо перейти. Під час сухого подрібнення ця межа оцінюється приблизно 1 мкм, тоді як під час мокрого подрібнення, зазвичай, вважається, що його можна знизити приблизно до 0,1 мкм. Нижче цього розміру необхідно вдаватися до хімічних або фізико-хімічних методів подрібнення твердих тіл (Ogonowski, Wołosiewicz-Głab, Ogonowski, Foszcz, & Pawełczyk, 2018).

Метод визначення розміру частинок за ISO 1524 не надає можливості отримати повний гранулометричний склад суспензії, адже цей метод заснований на вимірюванні ступеня перетиру — це показник, що характеризує розмір найбільших твердих частинок пігментованих лакофарбових матеріалів, диспергованих пігментів і наповнювачів за допомогою гріндометра.

У зв'язку з тим, що досліджений матеріал являє собою мікрогетерогенну систему (суспензію), дослідження проводили за допомогою світлової мікроскопії.

Немає чітко встановленої норми мінімального чи максимального розміру частинки твердої фази суспензії для фармацевтичних та/чи косметичних продуктів. У документі Regulation (EC) No 1223/2009 of the European Parliament and of the Council of 30 November 2009 on cosmetic products та ISO 1524:2020 Paints, varnishes and printing inks — Determination of fineness of grind зазначено, що поверхня декоративної косметики має бути гладкою, однорідною, рівномірно забарвленою або незабарвленою, а покриття рівний та рівномірний, без крупинок. У свою чергу, the 8th Edition of the European Pharmacopoeia теж не зазначає норми розміру частинок фармацевтичних продуктів. У науковій літературі вказано, що суспензії, які складаються з твердих мікрочастинок лікарського засобу, можуть

значно покращити дію фармацевтичних препаратів *in vitro* та *in vivo*, включаючи підвищення насичення розчинності та швидкості розчинення, перорального всмоктування, покращення пероральної біодоступності нерозчинних у воді лікарських засобів тощо (Li et al., 2019; Pazesh, Grasjo, Berggren, & Alderborn, 2017; Skrotska, Kharchenko, Laziuka, Marynin, & Kharchuk, 2021; Avramia, & Amariei, 2022).

Зважаючи на вищезазначене, розглянемо розподіл частинок в межах від 0 до 5 мкм як умовно максимально допустимий розмір частинки твердої фази у суспензії.

Мета дослідження: визначити зміни в гранулометричному складі суспензій лікарських і косметичних засобів під час оброблення в бісерному млині.

Матеріали і методи. Проведено експериментальні дослідження зміни гранулометричного складу суспензій лікарських і косметичних засобів під час оброблення у бісерному млині (Hrininh, Gubenia, & Chepelyuk, 2021). Подрібнення проводили на експериментальному бісерному млині періодичної дії (рис. 1), вимірювали витрати питомої та теплової енергії під час подрібнення та відбирали проби для дослідження гранулометричного складу суспензії.

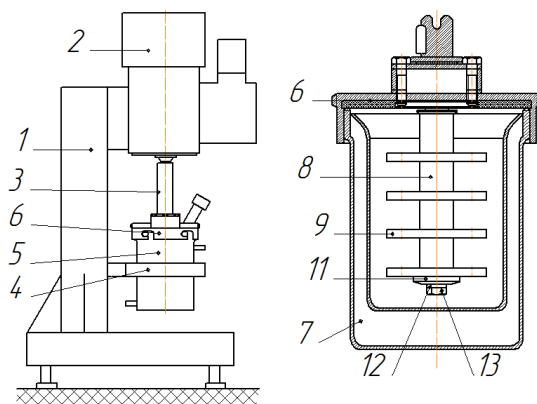


Рис. 1. Експериментальний стенд "Бісерний млин лабораторний" (Hrininh, Gubenia, & Chepelyuk, 2021): 1 — станина; 2 — асинхронний двигун; 3 — вал двигуна; 4 — хомут; 5 — робочий стакан; 6 — кришка; 7 — сорочка охолодження; 8 — вал; 9 — диски; 10 — шпонка; 11 — шайба; 12 — шайба Гровера; 13 — болт

Експериментальний стенд "Бісерний млин лабораторний" складається зі станини 1, асинхронного двигуна 2, валу двигуна 3, до якого під'єднується робочий стакан 5 з кришкою 6, закріплюється хомутом 4. Асинхронний двигун 2 потужністю 0,37 кВт працює під напругою 380 В, має ККД 71,2% та максимальну частоту обертів 1350 об/хв.

Робочий стакан 5 оснащений сорочкою охолодження 7, а також патрубками водопостачання та водовідведення, через які циркулює холодоносій (вода) від центрального водопостачання через трубки, що з'єднуються з патрубками хомути (Hrininh, Gubenia, & Chepelyuk, 2021).

Кришка стакану 6 оснащена валом 8, на якому закріплені диски 9 за допомогою шпонкового з'єднання 10 (Hrininh, Gubenia, & Chepelyuk, 2021). Диски

мають 4 симетрично розташовані отвори. Закріплюється вся конструкція шайбою 11, шайбою Гровера 12 та болтом 13. Вал 8 з дисками 9 (робочий орган) кріпиться до кришки стакану через підшипниковий вузол та з'єднаний з валом двигуна 3 через шпонкове з'єднання (рис. 1). Кришка оснащена пробовідбірником із ситовим патроном, який загвинчується на різьбу. Робочі тіла — бісер зі скла із середнім діаметром 1,87 мм (Hrininh, Gubenia, & Cherelyuk, 2021).

Дослідження зміни гранулометричного складу проводилося за допомогою світлової мікроскопії.

Світловий мікроскоп монокулярний ULABXSP-128M обладнаний ахроматичною оптикою з чотирма окулярами (4X, 10X, 40X та 90X) і застосовується для наукових досліджень. Тубус монокулярний, довжиною 160 мм, здатний обертатися на 360°. Конденсор Аббе з ірисовою діафрагмою, закриття або відкриття якої здійснюється обертанням кільця, та числовою апертурою $N.A. = 1,25$, що відповідає числовій апертурі 100X об'єктиву. Предметний столик подвійний механічний площею 110×126 мм та площею переміщення зразка 60×32 мм. Апарат оснащений механізмами попереднього і точного фокусування з двосторонніми коаксіальними регуляторами. Мікроскоп оснащений галогенною лампою 6 В 20 Вт з регулюванням освітлення для підсвічування зразка.

У мікроскоп замість штатного окуляра була встановлена цифрова окулярна камера Mikr Okular Full HD, яка дає змогу виводити зображення на монітор персонального комп'ютера, фотографувати та знімати відеоролики. Камера має максимальну роздільну здатність 1920×1080 (Full HD), вбудований УФ/ІЧ-фільтр, світлосильний CMOS-сенсор, який дає змогу знімати з роздільною здатністю Full HD.

Аналіз отриманих фото досліджуваних зразків відбувався за допомогою програмного забезпечення ImageJ (Rueden et al., 2017).

ImageJ — програма, що вільно розповсюджується, призначена для аналізу та обробки зображень (Rueden et al., 2017). Вона написана мовою Java та створена командою розробників із National Institutes of Health. Поширюється без ліцензійних обмежень як суспільне надбання.

Для проведення дослідження зміни гранулометричного складу як модельні тіла було обрано суспензії на основі рицинової олії рафінованої Ph. Eur. від виробника Gustav Heess (сертифікат якості від 11.12.2020) та пігменту залізоокисного «Червоний 120» від виробника РЕАТЕКС (сертифікат якості від 2021 р.). Використання рицинової олії як компонента модельного тіла обумовлено тим, що вона входить у склад багатьох кремів, мазей і багатьох косметичних продуктів декоративного та доглядового призначення як складова речовина. Пігмент залізоокисний «Червоний 120» був обраний як заміник наповнювачів м'яких лікарських засобів, таких як тальк, діоксид титану та інших порошкоподібних матеріалів. За рахунок низької собівартості, високої покривної здатності, термостійкості, широкого спектра використання та кольорометричного ефекту цей продукт оптимально підходить для дослідницьких цілей.

Для кожної композиції необхідно робити окремі зразки. Підготовка проб суспензій відбувалася за такими рецептурами:

- композиція 1 : 60% рицинової олії та 40% пігменту залізоокисного «Червоний 120»;

- композиція 2: 80% рицинової олії та 20% пігменту залізоокисного «Червоний 120».

Після взяття необхідної кількості досліджуваного матеріалу кожні 5 хв запускали лабораторний стенд далі. Після закінчення часу проведення дослідження (45 хв) отримані проби суспензії піддавалися аналізу.

Підрахунок частинок твердої фази суспензії проводять на всій поверхні мазка, пересуваючи предметне скло меандрами. Кожне поле зору фотографується за допомогою окулярної камери з розширенням 1920×1080 (Full HD). Рахують усі частинки, що підряд зустрічаються в полі зору.

Отримані фотографії піддавали контрастному забарвленню. Отримували площу кожної частинки, обводючи її краї (програма рахує площу та показує довжину кола частинки). Далі розраховували діаметр кожної частинки.

Приймалося, що кожна частинка має округлу форму. Тоді:

$$d = 2\sqrt{S/\pi}, \quad (1)$$

де d — діаметр частинки твердої фази суспензії, мкм; S — площа частинки твердої фази суспензії, мкм².

Отримані результати розподіляють в окремі класи з урахуванням величини частинок твердої фази суспензії та зображують діаграму розподілу частинок суспензії за розмірами (Jankovic, 2003).

Результати і обговорення. Отримані дані дають змогу побудувати криві ступеня перетиру (рис. 2). На початку процесу подрібнення тверда фаза суспензії містить у собі широкий діапазон розмірів частинок і скупчення агломератів, де найбільший діаметр дорівнює 120,63 мкм в композиції 1 та 125,94 мкм в композиції 2. Найбільш інтенсивне подрібнення відбувається в перші 4 хв процесу. Найбільший діаметр частинки після 45 хв подрібнення становить 7,42 мкм у композиції 1.

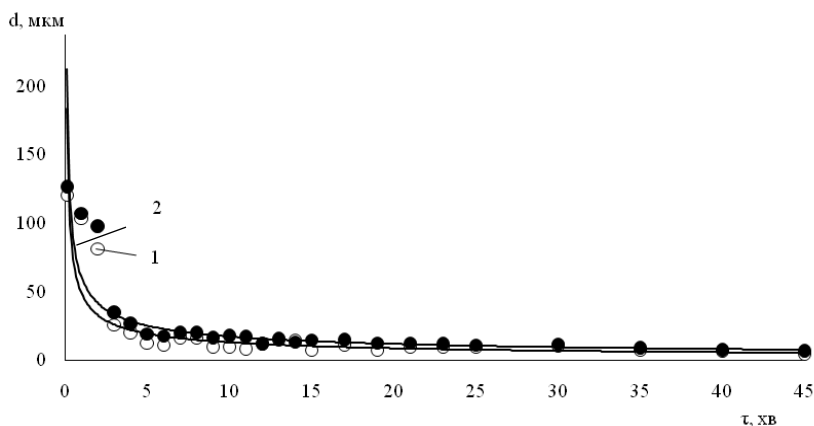


Рис. 2. Ступінь перетиру (розмір найбільшої частинки суспензії) композиції 1 (60/40%) (1) та композиції 2 (80/20%) (2)

У результаті математичного опрацювання експериментальних даних отримано рівняння залежності ступеня перетиру композиції 1 (d_1) та композиції 2 (d_2) від тривалості подрібнення (τ) в лабораторному бісерному млині:

$$d_1 = 48,872\tau^{-0,574}; \quad (2)$$

$$d_2 = 60,577\tau^{-0,545}, \quad (3)$$

де τ – тривалість процесу подрібнення, хв.

Протягом процесу подрібнення відбувається інтенсивне зменшення розмірів частинок твердої фази суспензій і, відповідно, їхній перерозподіл за класами розмірів. Отримані експериментальні дані дають змогу побудувати серію діаграм розподілу частинок суспензії за класами розмірів у межах досліджуваного часового діапазону для обох композицій (див. табл.).

Таблиця. Розподіл розмірів частинок протягом часу подрібнення у лабораторному бісерному млині

Час, хв	Діаграма розподілу розмірів	Фото
1	2	3
0	Сумарний вихід, % Діаметр частинок, мкм □ – композиція 1 (60/40%); ■ – композиція 2 (80/20%)	Збільшення у 100 разів
5	Сумарний вихід, % Діаметр частинок, мкм □ – композиція 1 (60/40%); ■ – композиція 2 (80/20%)	Збільшення у 100 разів
10	Сумарний вихід, % Діаметр частинок, мкм □ – композиція 1 (60/40%); ■ – композиція 2 (80/20%)	Збільшення у 100 разів

1	2	3
15	Сумарний вихід, % Діаметр частинок, мкм □ — композиція 1 (60/40%); ■ — композиція 2 (80/20%)	Збільшення у 100 разів
20	Сумарний вихід, % Діаметр частинок, мкм □ — композиція 1 (60/40%); ■ — композиція 2 (80/20%)	Збільшення у 100 разів
25	Сумарний вихід, % Діаметр частинок, мкм □ — композиція 1 (60/40%); ■ — композиція 2 (80/20%)	Збільшення у 400 разів
30	Сумарний вихід, % Діаметр частинок, мкм □ — композиція 1 (60/40%); ■ — композиція 2 (80/20%)	Збільшення у 400 разів

1	2	3
35	Сумарний вихід, % Діаметр частинок, мкм □ – композиція 1 (60/40%); ■ – композиція 2 (80/20%)	Збільшення у 400 разів
40	Сумарний вихід, % Діаметр частинок, мкм □ – композиція 1 (60/40%); ■ – композиція 2 (80/20%)	Збільшення у 900 разів
45	Сумарний вихід, % Діаметр частинок, мкм □ – композиція 1 (60/40%); ■ – композиція 2 (80/20%)	Збільшення у 900 разів

Серія діаграм демонструє активний перерозподіл частинок твердої фази обох композицій у досліджуваному діапазоні розмірів та ілюструє динаміку утворення монодисперсної системи з розмірами частинок менше 1 мкм. Це пояснюється тим, що маленькі первинні частинки твердої фази спочатку знаходяться у вигляді агломератів або агрегатів, а в процесі подрібнення відбувалася ініційована руйнація для зменшення їх розміру (Mende, & Rapp, 2014).

Композиція 1, яка має більший вміст твердих часточок (40% пігменту залізо-окисного «Червоний 120»), подрібнюється більш інтенсивно. Відповідно, що для виробництва лікарських і косметичних засобів доцільно застосовувати рецептури суспензій, які мають більшу концентрацію твердої фази в своєму складі.

Так, перед початком подрібнення (0 хв) присутні яскраво виражені агломерати та скупчення частинок твердої фази суспензії, які займають більше 40% від загального вмісту частинок в суспензії в обох композиціях. На практиці використання таких суспензій у виробництві косметичних чи лікарських засобів є недоречним, адже великі частинки пошкодять шкіру або слизові оболонки, а фармакологічний ефект буде мінімальним (Li et al., 2019).

Схожі дослідження проводили Jankovic (Jankovic, 2003), Pazesh (Pazesh, Grasjo, Berggren, & Alderborn, 2017) та інші, але використовували інші модельні тіла, як рідку фазу використовували воду (Pazesh, Grasjo, Berggren, & Alderborn, 2017; Jankovic, 2003), суміш води з поверхнево-активними речовинами або стабілізаторами (Li et al., 2019) та інші розчинники, а тверда фаза — моногідрат α -лактози (Pazesh, Grasjo, Berggren, & Alderborn, 2017), пробукол (Li et al., 2019), мінерали (Jankovic, 2003) тощо.

Jankovic (Jankovic, 2003) вивчав використання різних типів бісерних млинів. Змінні, що аналізувалися: швидкість мішалки, тип і розмір робочих тіл, вміст твердих частинок суспензії, а також розмір порції подачі продукту. Було виявлено, що характеристики робочих тіл (розмір, щільність, форма), швидкість млина та властивості суспензії (розмір завантаження та продукту, щільність і твердість суспензії) суттєво впливають на процес подрібнення.

Pazesh (Pazesh, Grasjo, Berggren, & Alderborn, 2017) досліджував взаємозв'язок між подрібненням і аморфізацією частинок моногідрату α -лактози під час подрібнення за різних умов, включаючи співвідношення маси кульки до порошку, час подрібнення та діаметр кульки. Результати показали, що збільшене співвідношення маси кульки до порошку під час помелу збільшило як швидкість подрібнення, так і швидкість аморфізації. Через задане співвідношення маси кульки до порошку діаметр кульки впливав на ступінь видимого аморфного вмісту частинок, тоді як діаметр частинок залишався незмінним.

Отримані результати досліджень розподілу частинок суспензії за класами розмірів дає змогу відслідковувати та коригувати необхідні параметри процесу надтонкого подрібнення для досягнення необхідної якості продукту.

Висновки

Експериментальні дослідження зміни гранулометричного складу суспензій та аналіз отриманих результатів свідчить, що композиції суспензій у межах досліджуваного діапазону активно подрібнюються та перерозподіляються протягом усього часового проміжку вимірювань.

Отримана крива ступеня перетиру під час подрібнення демонструє активне зменшення розміру частинок в перші 4 хв процесу. Крива ступеня перетиру та діаграми розподілу розмірів демонструють, що суспензії з більшим вмістом твердої фази подрібнюються більш інтенсивно, ніж суспензії з меншим вмістом твердої фази.

Отримані результати досліджень розподілу частинок суспензії за класами розмірів дають змогу відслідковувати та коригувати необхідні параметри процесу надтонкого подрібнення для досягнення необхідної якості продукту, а також використовувати для імітаційного моделювання процесу в бісерних млинах.

Відповідно, для виробництва лікарських і косметичних засобів доцільно за-

стосовувати рецептури суспензій, які мають більшу концентрацію твердої фази у своєму складі.

Література

Доровський, О. В. (2014). Світовий фармацевтичний ринок: структура, тенденції розвитку, точки зростання. *Науковий вісник Херсонського державного університету*, 9—1(3), 34—38.

Avramia, I., Amariei, S. (2022). A Simple and Efficient Mechanical Cell Disruption Method Using Glass Beads to Extract β -Glucans from Spent Brewer's Yeast. *Applied Sciences*, 12(2), 648. <https://doi.org/10.3390/app12020648>.

Flach, F., Fries, L., Kammerhofer, J., Hasselbach, J., Finke, B., Schilde, C., Palzer, S., Heinrich, S., Kwade, A. (2019). Optimization of aqueous microgrinding processes for fibrous plant materials. *Advanced Powder Technology*, 30 (11), 2823—2831. <https://doi.org/10.1016/j.appt.2019.08.029>.

Hrinin, K., Gubenia, O., Chepelyuk, O. (2021). Energy parameters of the process of ultrafine grinding of medical and cosmetic components in the bead mill. *Proceedings of University of Ruse*, 60 (10.2), 14—19.

Ivanov, V., Shevchenko, O., Marynin, A., Stabnikov, V., Gubenia, O., Stabnikova, O., Shevchenko, A., Gavva, O. & Saliuk, A. (2021). Trends and expected benefits of the breaking edge food technologies in 2021—2030. *Ukrainian Food Journal*, 10(1), 7—36. <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2021-10-1-3>.

Jankovic, A. (2003). Variables affecting the fine grinding of minerals using stirred mills. *Minerals Engineering*, 16 (4), 337—345. [https://doi.org/10.1016/S0892-6875\(03\)00007-4](https://doi.org/10.1016/S0892-6875(03)00007-4).

Jimbo, G. (1992). Chemical Engineering Analysis of Fine Grinding Phenomenon and Process. *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 25 (2), 117—127. <https://doi.org/10.1252/jcej.25.117>.

Li, F., Wang, L., Yang, Y., Li, J., Liu, D., Zhang, S., Wang, W., Xu, H. (2019). Improved dissolution and oral absorption by co-grinding active drug probucol and ternary stabilizers mixtures with planetary beads-milling method. *Asian Journal of Pharmaceutical Science*, 14(6). 649—657. <https://doi.org/10.1016/j.ajps.2018.12.001>.

Mende, S., Rappl, M. (2014). Mill performance matched to the task. Throughput enhanced by optimising cooling and disc configuration. *European Coatings Journal*, 12, 88—91.

Ogonowski, S., Wołosiewicz-Głab, M., Ogonowski, Z., Foszcz, D., Pawełczyk, M. (2018). Comparison of Wet and Dry Grinding in Electromagnetic Mill. *Minerals*, 8, 138. <https://doi.org/10.3390/min8040138>.

Pazesh, S., Grasjo, J., Berggren, J., Alderborn, G. (2017). Comminution-amorphisation relationships during ball milling of lactose at different milling conditions. *International Journal of Pharmaceutics*, 528, 215—227. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2017.05.043>.

Rueden, C. T., Schindelin, J., Hiner, M. C., De Zonia, B. E., Walter, A. E., Arena, E. T., & Eliceiri, K. W. (2017). ImageJ2: ImageJ for the next generation of scientific image data. *BMC Bioinformatics*, 18(1). <https://doi.org/10.1186/s12859-017-1934-z>.

Skrotska, O., Kharchenko, Y., Laziuka, Y., Marynin, A., Kharchuk, M. (2021). Biosynthesis and characteristics of silver nanoparticles obtained using *Saccharomyces cerevisiae* M437. *Ukrainian Food Journal*, 10(3), 615—631. <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2021-10-3-14>.

Varinot, C., Berthiaux, H., Dodds, J. (1993). Prediction of the product size distribution in associations of stirred bead mills. *Powder Technology*, 105(1—3), 228—236. [https://doi.org/10.1016/S0032-5910\(99\)00142-4](https://doi.org/10.1016/S0032-5910(99)00142-4).

DYNAMICS OF CRYSTALLIZATION PROCESS AND THE INDUSTRIAL FREEZING OF RAW FRUIT AND BERRIES

G. Simakhina

National University of Food Technologies

Key words:

*Freezing
Phase transitions
Biochemical processes
Free and constrained
water
Rapid and shock freezing*

Article history:

Received 01.07.2022
Received in revised form
18.07.2022
Accepted 08.08.2022

Corresponding author:

G. Simakhina
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

Fruit and berry raw materials are the main source for supplying the foodstuffs with increased amount of vitamins, mineral substances, and other biologically active substances in order to promote the satisfaction of daily physiological needs of a human body. However, they are a seasonal raw that it not suitable for long shelflife in fresh state, hence its period of consumption is comparatively limited. It is only the usage of freezing methods and low-temperature storage that would allow retaining the properties, composition and nutritional value of fruit and berries, accomplishing their deeper procession and, essentially, provide the human needs in high-vitamin products throughout the year, especially in off-season in case of the lack of fresh raw materials. The artificial cold used in food industry gives an opportunity to obtain the standardized foodstuffs stable in terms of qualitative and sensory indices during a long storage period; to minimize labor losses as there is no need to wash and sort fruits and berries before culinary processing; to reduce production areas.

Despite such obvious advantages of frozen fruit and berry production and realization, the market of them is growing far slower than the one of vegetables, because the fruit and berry products obtained by traditional technologies appears to be inferior to fresh raw materials in sensory indices as well as in quality and safety. Therefore, the main attention should be paid to elaboration of the newer improved ways of freezing, primarily on the base of studying the mechanism and dynamics of crystallization process while the fresh fruit and berries are exposed to low temperatures impact.

The author of this article elucidated the specifications of phase transitions of water in freezing the plant objects, regarding the grade of their saturation with water, the amount of proteins and pectins with high water-retaining capacity, and other factors. Besides, there were analyzed the novelty methods for freezing fruit and berries in industrial enterprises, with special accents on their advantages and disadvantages.

ДИНАМІКА ПРОЦЕСУ КРИСТАЛОУТВОРЕННЯ ТА ПРОМИСЛОВЕ ЗАМОРОЖУВАННЯ ПЛОДОВО-ЯГІДНОЇ СИРОВИНИ

Г. О. Сімахіна

Національний університет харчових технологій

Плодово-ягідна сировина — основне джерело постачання населення продукцією з підвищеним вмістом вітамінів, мінеральних сполук, інших біологічно активних речовин для забезпечення необхідних щоденних фізіологічних потреб організму людини. Однак це сировина сезонна, непридатна у свіжому вигляді до тривалого зберігання, тому період її споживання досить обмежений. І лише використання методів заморожування та низькотемпературного зберігання надає можливість зберегти властивості, склад і харчову цінність плодів та ягід, здійснити їх глибше перероблення і, головне, забезпечити потреби населення у високовітамінній продукції впродовж року, особливо у міжсезонний період за відсутності свіжої сировини. Штучний холод у харчовій промисловості дає змогу отримувати стандартизовані продукти, стабільні за якісними та органолептичними показниками впродовж тривалого терміну зберігання; зменшувати втрати робочої сили, оскільки відпадає необхідність мити, перебирати, сортувати плоди та ягоди перед кулінарним обробленням і скоротити виробничі площі.

Незважаючи на такі очевидні переваги виробництва та реалізації заморожених плодів та ягід, їх ринок зростає значно повільніше, ніж овочів, оскільки отримана за традиційними технологіями плодово-ягідна продукція значно поступається свіжій сировині і за органолептичними показниками, і за якістю та безпекою. Тому особливу увагу необхідно приділити розробленню нових, більш досконалих способів заморожування, передусім на основі вивчення механізму і динаміки процесів кристалоутворення при дії низьких температур на плодово-ягідну сировину.

У статті з'ясовано особливості фазового перетворення води при заморожуванні рослинних об'єктів залежно від насиченості їхніх тканин водою, вмісту білкових і пектинових речовин з високою водоутримувальною здатністю, інших чинників. Проаналізовано сучасні способи заморожування плодово-ягідної сировини у промисловості з акцентом на їхніх недоліках та перевагах.

Ключові слова: заморожування, фазові переходи, біохімічні процеси, вільна та зв'язана вода, швидке і шокове заморожування.

Постановка проблеми. Особливе місце серед рослинної сировини, що містить значну кількість БАР, займають дикорослі плоди та ягоди — натуральні вітаміноносії, для яких характерні різні лікувально-профілактичні властивості (Петрова, 1986). Макро- та мікроелементи знаходяться в дикорослих в органічно зв'язаній, тобто найбільш доступній, засвоюваній організмом формі.

Збалансованість і кількісний вміст основних нутрієнтів такий, якого немає в інших видах рослинної сировини. Їхній біохімічний склад залежить від природно-кліматичних зон зростання, тому вміст окремих нутрієнтів у плодах і ягодах з різних зон коливається у досить широких межах, наприклад, вміст вітаміну С у лохині — від 28,0 до 120 мг/100 г, у журавлині — від 13,2 до 66,9, в чорниці — 6,3...36,0 мг/100 г (2).

Дикорослі плоди та ягоди перш за все є ефективним джерелом різноманітних вуглеводів, серед яких — цукри, поліоли, пектинові речовини, клітковина, геміцелюлози (Заморська, Волкова, & Сасс, 2020), зокрема міститься 0,2...1,8% пектинових речовин з належними желуючими властивостями, що виявляються при певному співвідношенні пектинових речовин, цукру, кислот (Павлюк, Погарська, & Радченко, 2019).

Біологічна цінність плодів і ягід багато в чому визначається наявністю в них вітамінів і вітаміноподібних речовин. Це водо- та жиророзчинні вітаміни: аскорбінова кислота, вітаміни групи В (В1, В2, В6, РР та ін.), біофлавоноїди. Серед жиророзчинних вітамінів — А, D, Е, К (Сімахіна, Стеценко, & Науменко, 2016).

Викладені відомості показують, наскільки важливо технологічний процес перероблення плодово-ягідної сировини, в тому числі дикорослої, вести таким чином, щоб отримані з неї напівфабрикати та готові продукти зберегли практично всі цінні речовини, закладені в ній природою (за винятком видаленої вологи); щоб продукти зберігалися протягом тривалого часу без погіршення якості могли швидко відновлюватись, не поступаючись за показниками свіжим плодам та ягодам.

Навіть короткий аналіз матеріалів свідчить про великі втрати цінних компонентів плодово-ягідної сировини при зберіганні. А якщо враховувати втрати сировини при збиранні, транспортуванні, переробленні, то за статистичними даними до столу українського споживача доходить лише 30—40% вирощеної продукції, тоді як у провідних країнах світу цей показник перевищує 80% (Заморська, 2018). Тому для скорочення втрат сировини та її цінних біокомпонентів (передусім вітамінів) на всіх етапах «від поля до столу» необхідно розробляти і реалізувати нові, значно досконаліші технології перероблення та зберігання сільськогосподарської продукції, що й визначає актуальність пропонованої статті.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Фізичною сутністю процесу заморожування будь-яких біологічних об'єктів є фазове перетворення наявної в них води із рідкого стану в кристалічний (Franks, 2000). Це супроводжується зниженням температури всієї системи і виділенням теплоти льодоутворення.

Температура найбільшою мірою гальмує швидкість і впливає на характер перебігу обмінних процесів у системах. Модифікуючи стан рідкої фази, вона впливає на інтенсивність ферментативних, біохімічних та інших реакцій. І саме це є особливістю процесу заморожування, оскільки перетворення води на лід перешкоджає життєдіяльності мікроорганізмів, різко уповільнює швидкість перебігу хімічних і біохімічних процесів у рослинній сировині, які негативно впливають на колір, аромат, смак, викликають руйнування вітамінів (Павлюк, &

Дібрівська, 2006). За законом Вант-Гоффа-Арреніуса зниження температури на кожні 10 °C уповільнює швидкість перебігу реакцій у 2—4 рази, що теж обґрунтовує доцільність використання низькотемпературних процесів при переробленні сільськогосподарської сировини, зберіганні і транспортуванні готової продукції.

Від інших продуктів рослинництва плодово-ягідна сировина відрізняється високим (80—90%) вмістом води. Така насиченість рослинних тканин призводить до інтенсивного обміну речовин у період зберігання, підвищених витрат вологи на випаровування, зниженої стійкості до руйнівного впливу фітопатогенних мікроорганізмів. Тому вивченню води в біологічних об'єктах присвячено велике число фундаментальних досліджень, на основі яких встановлено, що під дією води відбуваються реакції гідролізу складних органічних сполук на більш прості (цукроза → глюкоза + фруктоза; молекули жиру → жирні кислоти + гліцерин), реакції гідратації (набування крохмалю) тощо. Великий вміст води у тканинах рослинних матеріалів зумовлює високу активність ферментів і, як наслідок, інтенсивні біохімічні процеси. При зниженні концентрації води активність ферментів значно зменшується, що широко використовується при консервуванні плодів та ягід (Одарченко, Кудряшов, & Бабіч, 2014).

Наявність у рослинних матеріалах білкових і пектинових речовин, здатних зв'язувати велику кількість води, зберігає форму та структуру готових продуктів при низькотемпературному консервуванні. Теоретично оптимальний варіант отримання продукту найвищої якості — повна кристалізація води матеріалу. Однак його неможливо реалізувати на практиці, оскільки вода має різні форми зв'язку з різними компонентами біооб'єктів, зокрема плодів та ягід.

Згідно з класифікацією академіка П. А. Ребіндера, вода у колоїдному матеріалі може бути хімічно, фізико-хімічно, фізико-механічно зв'язаною. За спрощеною класифікацією воду розділяють на вільну і зв'язану. Воду, що є розчинником цукрів, кислот, багатоатомних спиртів, азотистих речовин, фенольних та барвних сполук, водорозчинних вітамінів, солей, називають *вільною*. Цілеспрямований вплив на цю частку води, разом з іншими операціями, надає можливість регулювати процеси, що проходять у сировині при її заморожуванні. Вільна вода є також регулятором осмотичного тиску, поверхневого натягу та інших параметрів. Наявність вільної води в сировині, склад і концентрація розчинених у ній компонентів справляє великий вплив на хімічні і біохімічні перетворення сполук, що відбуваються при заморожуванні рослинних матеріалів і, як наслідок, на якість отриманих продуктів. Вільна вода досить легко кристалізується.

Воду, що утворює навколо макромолекул колоїдної дисперсності (клітковини, крохмалю, протопектину, білків, геміцелюлози тощо) тонку оболонку, називають *зв'язаною*. Її властиві свої особливості. Вона міцно прилягає до поверхні часток матеріалу, густина її значно перевищує густину вільної води. Молекули зв'язаної води орієнтовані в просторі, тому її діелектрична стала в десятки разів менша, ніж у вільної. Завдяки цьому зв'язана вода дуже міцно утримується біля поверхні біомолекул, не бере участі у розчиненні електролітів, не кристалізується при заморожуванні (Белінська, & Клячин, 2015).

Існування в рослинній клітині фракції зв'язаної води розглядається як своєрідний бар'єр, який протидіє ушкоджуючій дії концентрованих розчинів солей на біополімери клітин у процесі виморожування вільної води, тому співвідношення вільної і зв'язаної води потрібно враховувати при розробленні технологічних режимів заморожування для кожного виду сировини.

Установлено, що в клітинах свіжої сировини міститься менше зв'язаної води, ніж у сухій, а в рослинах — менше, ніж у продуктах тваринного походження (Сімахіна, 2003). Сучасні методи надають можливість виявити декілька фракцій води, які характеризуються різною рухливістю молекул. Методом протонно-магнітного резонансу (ПМР) науковці (Манк, Мельник, & Трачевский, 2011) вивчили рухливість молекул води при холодильному консервуванні рослинних об'єктів. Було зроблено висновок про наявність у рослинній клітині трьох форм води. Основна її частина заморожується при температурі від 0 до -4°C , і її можна віднести до вільної води. Воду, що вимерзає в діапазоні температур від -4°C до -14°C , автори вважають слабкозв'язаною. А незначна частина води, зв'язана гідратно, в спектрах ПМР реєструвалась як рухлива до досягнення температури -30°C . Тобто це всі ті фракції, які піддаються заморожуванню і кристалізації. І хоча у згадуваному дослідженні спектри, нижчі від -30°C , не знімалися, можна прогнозувати, що при заморожуванні рослинних соковитих об'єктів зниження температури до -30°C забезпечує кристалізацію практично усієї вільної води, частка якої в свіжій сировині досягає 80% від усієї маси води.

Це підтвердилось у подальших дослідженнях. Установлено також, що чим вищий вміст у рослинній клітині розчинених речовин — цукрів, інших вуглеводів, кислот, солей, тим нижча криоскопічна температура (у вишні вона становить $-3,5^{\circ}\text{C}$, винограді — -5°C) (Stringer, & Dennis, 2012), а значить і кінцева температура заморожування вільної води.

Мета статті: з'ясувати особливості фазового перетворення води при заморожуванні рослинних об'єктів залежно від насиченості їхніх тканин водою, вмісту білкових і пектинових речовин з високою водоутримувальною здатністю, інших чинників; проаналізувати сучасні способи заморожування плодово-ягідної сировини у промислових умовах із акцентом на їхніх недоліках та перевагах.

Викладення основних результатів дослідження. При заморожуванні соковитої рослинної сировини передусім починає замерзати та частина води, яка має слабкі зв'язки з гідрофільними колоїдами і в якій менше міститься розчинених речовин. Ця вода знаходиться в міжклітинному просторі рослинних тканин, в яких насамперед починають утворюватися кристали льоду, що викликає збільшення концентрації розчину, тобто збільшення осмотичного тиску. В результаті різниці концентрації всередині клітин і міжклітинному просторі відбувається переміщення води з клітин у міжклітинний простір і кристали льоду в ньому збільшуються, а клітини зневоднюються (Schwartz, 2002).

Зростання зовнішніх кристалів льоду залежить від швидкості охолодження системи — чим повільніше зменшується температура, тим більших розмірів набувають кристали льоду, і навпаки, збільшення швидкості охолодження забезпечує формування дрібнокристалічного льоду, руйнуюча дія якого дуже незначна. І тим більшою є ймовірність руйнування рослинних клітин. У працях П. Мейзура (1966—1979) з'ясовано, що при повільному заморожуванні загинуть клітин

відбувається саме в результаті росту позаклітинних кристалів льоду і дії «ефектів розчину». Хоча, наприклад, пектинові речовини у складі плодів і ягід мають гідрофільні властивості, тобто можуть зв'язувати велику кількість води, сприяти утворенню гелеподібної структури, створюючи своєрідний бар'єр утворенню великих кристалів льоду, здатних руйнувати клітини і мембрани (Одарченко, Кудряшов, & Бабіч, 2014). Це позитивно впливає на якість сировини при заморожуванні та її дефростації.

Від розмірів утворених кристалів льоду залежить здатність заморожених матеріалів до відновлення, а також величина втрат клітинного соку при дефростації, і чим дрібнішими є утворені кристали, тим більшою мірою проявляються зазначені властивості, тобто підвищується здатність до відновлення і до мінімуму зводяться втрати клітинного соку. Таким чином, при визначенні технологічних режимів заморожування ягід і плодів необхідно враховувати характер кристалоутворення і локалізацію льоду в рослинних тканинах.

Мета заморожування, як і будь-якого іншого способу консервування, полягає в тому, щоб звести до мінімуму або сповільнити реакції, що погіршують якість продуктів і, врешті, роблять їх непридатними до вживання. При температурах нижче нуля вільна вода, як показано вище, перетворюється на лід, втрачає властивість розчину, внаслідок чого життєдіяльність мікроорганізмів пригнічується і активність ферментів втрачає практичне значення. Цей етап анабіозу називають кріоанабіозом або глибоким анабіозом (Zachariassen, 2005).

Встановлено, що низькі температури не призводять до незворотної інактивації ферментів, а надають можливість на певний час і за певних умов різко обмежити їхню активність, що, у свою чергу, гарантує зберігання заморожених чи охолоджених продуктів протягом тривалого терміну без зниження їх якості, який для кожного конкретного виду сировини потрібно встановлювати індивідуально. Відомо, що ферменти зумовлюють всі біологічні процеси, які відбуваються в живій чи зруйнованій клітині (Bolon, & Mayo, 2001), тому зміна їх активності має істотне значення для пояснення цих процесів та контролю над ними. В плодово-ягідній сировині окислювально-відновні реакції каталізують оксидоредуктази: аскорбатоксидаза, пероксидаза, каталаза, поліфенолоксидаза. Наприклад, швидке потемніння овочів та фруктів після їх подрібнення та витримки на повітрі зумовлено присутністю ферменту поліфенолоксидази, хоча участь у цьому процесі можуть брати також пероксидази та інші оксидоредуктази (Osuga, Van der Schaaf, & Whitaker, 2004).

Оскільки ми обираємо рослинну сировину передусім як природне джерело вітамінів, нас цікавлять сполуки, здатні пригнічувати чи зовсім нейтралізувати активність певних вітамінів. З цієї точки зору зазначені оксидоредуктази доцільно розглядати як антивітаміни. Таким сполукам присвячено значну кількість наукових праць, опублікованих у 50—80-ті роки минулого століття; їхні автори давали різне визначення терміна «антивітаміни», включали до цієї групи різні природні сполуки та їх синтетичні структурні аналоги, виявляли дійсні антивітаміни у харчових продуктах (наприклад, фітин).

Однак цей широкий спектр досліджень не можна вважати завершеним і на сьогодні. Сучасному розумінню терміна «антивітаміни» найбільш відповідає визначення, запропоноване Р. Сомодї: «Антивітаміни — це сполуки, здатні

зменшувати або повністю ліквідувати специфічний ефект вітамінів, незалежно від механізму їхньої дії» (Somogyi, 1992).

Антивітаміни у складі харчових продуктів негативно впливають на есенціальні мікронутрієнти, модифікуючи їх і зменшуючи біологічну активність шляхом інактивування або зв'язування у малорозчинні комплекси. Серед антивітамінів особливий інтерес представляє фермент аскорбатоксидаза. Під її впливом при підвищених температурах у процесах технологічного перероблення сировини на готові продукти втрачається майже або повністю увесь запас аскорбінової кислоти, синтезований у сировині природою (Zhou, & Liu, 2005). Це і є однією з основних причин цілорічного дефіциту цього вітаміну в раціонах харчування населення України, оскільки на вітчизняних харчових підприємствах переважають високотемпературні способи перероблення плодів і ягід. Таку ж роль виконує фермент поліфенолоксидаза, яка містить як кофермент іони міді, що викликають окислення фенольних сполук з однією чи кількома фенольними групами молекулярним киснем.

Аскорбатоксидаза теж містить у складі молекули іони міді. Цей фермент шляхом ініціювання перетворень у ряду аскорбінова кислота-дегідроаскорбінова кислота-дикетогулонова кислота призводить до утворення з аскорбінової кислоти надзвичайно термолабільних форм. Ось чому, незважаючи на те, що в організмі людини дегідроаскорбінова кислота виявляє майже таку ж біологічну активність, як і вітамін С, її накопичення у харчовій сировині під впливом аскорбатоксидази свідчить про практично повну втрату вітамінної цінності і сировини, і продуктів, якщо технологічний процес перероблення передбачає використання високих температур.

Варто звернути увагу і на ферменти пероксидазу та каталазу. Окислення БАР рослинних матеріалів відбувається під дією атомарного кисню, який відщеплюється безпосередньо від пероксиду водню або проміжних перекисних сполук. При розробленні вдосконаленої технології заморожування плодів і ягід варто скористатись особливостями взаємодії цих ферментів: у незруйнованих клітинах рослинної сировини каталаза інгібує дію пероксидаз, а в зруйнованих клітинах вона сама легко інактивується і пероксидази діють особливо інтенсивно, призводячи до зниження біологічної цінності сировини і отриманих із неї готових продуктів (Петрова, 1985). Тому варто орієнтуватись на якісний підбір плодів і ягід, без ушкоджень покривних тканин і за можливості уникати їх подрібнення перед дією низьких температур, що дасть змогу використати повною мірою інгібуючий ефект каталази.

Водночас зазначені негативні впливи досить виражені саме для овочевих культур і значно менше для плодів та ягід. За існуючими даними вміст, наприклад, аскорбатоксидази в томатах досягає 80 мг% (Abdelgavad, El-Mogy, & Mohamed, 2019), а в більшості плодів і ягід вона міститься або в незначних кількостях, або зовсім відсутня на етапі повного дозрівання, особливо в засушливих умовах.

Теоретичні відомості про особливості кристалізації води в соковитій плодово-ягідній сировині дають підстави розробити високоефективне обладнання для заморожування рослинних об'єктів. Досвід зарубіжних і вітчизняних науковців і

практиків однозначно показує, що найбільш перспективним шляхом подолання всіх зазначених проблем є швидке заморожування сировини, низькотемпературне зберігання отриманих напівфабрикатів і досконалі способи дефростації. Саме завдяки таким підходам можна в короткі строки переробити значну кількість плодів та ягід на напівфабрикати підвищеної біологічної та споживчої цінності.

Нині у світі розвивається тенденція наближення об'єктів перероблення сільськогосподарської продукції до місць її вирощування. Це допомагає отримати в готовій продукції практично всі БАР сировини, завдяки мінімальному терміну її зберігання та відсутності втрат і товарного вигляду при транспортуванні. Проте в Україні малий і середній бізнес ще не набув такого розвитку, зокрема забезпечення необхідним обладнанням, тому доцільно розглянути сучасні технології заморожування, які реалізуються на промислових підприємствах.

Ефективність заморожування підтверджено численними експертними дослідженнями, хіміко-технологічною оцінкою заморожених і дефростованих напівфабрикатів, їх належними споживчими характеристиками і постійно зростаючим попитом у споживачів (Одарченко, Кудряшов, & Сюсель, 2012; Плахотний, & Дорошук, 2001). Особливу увагу слід приділити інтенсифікації процесів холодильного оброблення сировини, нестійкої при зберіганні, з високим вмістом вологи, можливістю розвитку мікробіологічного забруднення, що загалом призводить до зниження харчової і біологічної цінності матеріалів та отриманих з них продуктів. Сказане стосується передусім плодів і ягід (вміст вологи в яких досягає 90%), найбільш перспективним способом перероблення яких є швидке заморожування.

Така увага саме до швидкого заморожування матеріалів визначається особливостями кристалізації води в них при різних швидкостях процесу. І на сьогодні уже класичною стала виявлена закономірність між швидкістю заморожування біооб'єктів та ступенем руйнування їх тканинних структур (Чумак, 2000). Ця закономірність полягає в тому, що швидке заморожування сприяє утворенню дрібних (в середньому $11 \times 25 \times 30$ мкм), рівномірно розподілених у міжклітинному просторі кристалів льоду. Гістологічний аналіз швидкозаморожених рослинних тканин показує, що зміни її структури загалом зводяться до незначної деформації клітин без порушення їх загальної цілісності. Саме тому при дефростації заморожених матеріалів втрати клітинного соку незначні.

Тривале вивчення процесів заморожування дало можливість окреслити межі основних параметрів процесу швидкого заморожування харчових матеріалів (Maslikov, & Polischuk, 2013): температура заморожування $-30...-37$ °C; середня швидкість руху охолодженого повітря 5...8 м/с.

Зрозуміло, що тривалість заморожування безпосередньо залежить від розміру плодів і ягід, їх заморожування в цілому чи подрібненому вигляді тощо, і повинна визначатись для кожного конкретного виду сировини.

Підсумовуючи накопичений досвід у цьому напрямі, в тому числі кріобіохімічні дослідження, присвячені з'ясуванню процесів кристалоутворення в біологічних системах, провідні вітчизняні кріобіологи М. С. Пушкар, А. М. Білоус і В. І. Грищенко зробили узагальнюючий висновок, що процес виникнення та росту кристалів льоду залежить від інтенсивності охолодження та переохолод-

ження, швидкості заморожування-відігрівання, а також природи і концентрації розчинених у клітинному соці сполук (Пушкар, Белоус, & Иткин, 1987). Ці ж автори пропонують розрізняти декілька видів швидкості заморожування біооб'єктів: дуже повільне — менше 1 м/с; повільне — 1...4 м/с; швидке — 5...50 м/с; надшвидке 50...70 м/с (Белоус, & Грищенко, 1994). Такий поділ швидкостей заморожування (тобто швидкість просування фронту заморожування в середовищі процесу від поверхні продукту до його центру) характерний і для харчових технологій (Масліков, 2003).

Отже, виходячи з класичного твердження, що заморожування — це фазовий перехід, пов'язаний із утворенням льоду в біооб'єкті, зрозуміло, що здійснення процесу кристалізації води в заморожених матеріалах з дотриманням оптимальних умов, запобіганням кріоушкодженню клітинних структур рослин є основним чинником отримання заморожених плодово-ягідних напівфабрикатів високої біологічної та споживчої якості.

Технологію швидкого заморожування плодів та ягід здійснюють в апаратах спеціальної конструкції (Ермольев, 2004). Наприклад, тунельному морозильному апараті TROLL FREEZE фірми Frigoscandia; флюїдизаційних апаратах різних виробників, таких як Starfrost (Англія), Frigoscandia (Швеція) та інших. Розроблено і реалізуються апарати для заморожування контактним та безконтактним методом.

Слід зазначити, що методи флюїдизаційного та напівфлюїдизаційного заморожування набули високої популярності вже в 70-х роках минулого століття, і їх детально описано для отримання заморожених плодів та ягід у фундаментальній праці Я. Постольскі і З. Груби «Заморожування харчових продуктів» (1978). Ці методи значною мірою витіснили колись надзвичайно популярні способи заморожування полуниць, суниць та інших видів ягід в індивідуальній упаковці в сиропі або цукрі.

Загалом, в обладнанні для заморожування, яке використовується нині, закладено ті ж конструктивні особливості, як і в апаратах 70-х років минулого століття, правда з істотним вдосконаленням окремих ділянок технологічних ліній (Чумак, Старчевський, & Кочетов, 2000). Як і колись, так і тепер в цих апаратах заморожують широкий асортимент сировини — ягоди (полуниці, малина, смородина, ожина, журавлина, чорниця), плоди (вишні, черешні, сливи тощо). Незмінним залишається принцип флюїдизації — у таких апаратах кожна одиниця заморожуваного матеріалу перебуває в завислому стані, безперервно рухаючись у потоці охолодженого повітря.

У більшості флюїдизаційних апаратів шар заморожуваного продукту перебуває на сітчастому конвеєрі з нержавіючої сталі (Farshi, 2013). І саме завдяки такій його конструкції повітря проходить крізь отвори конвеєру, піднімає частки заморожуваного матеріалу, відокремлює їх одна від одної і підтримує в завислому стані. До складу флюїдизаційного тунелю входить не менше двох сітчастих конвеєрів, тобто вони є невід'ємною складовою для здійснення такого способу заморожування. І з цієї точки зору мабуть більш правильно називати цей апарат флюїдизаційно-конвеєрним (за Мак Лоухленом, США) і саме таку назву він має в уже згадуваній праці Я. Постольскі та З. Груби. За діючою технологією ягоди

та фрукти заморожують в апаратах такого типу при температурі $-30...-38^{\circ}\text{C}$ і швидкості руху повітря $5...8\text{ м/с}$. Це гарантує швидке «шокове» заморожування і дає змогу зберегти форму заморожених матеріалів при транспортуванні (Шокове, 2017).

Задля об'єктивності необхідно зазначити недоліки технології заморожування у флюїдизаційних апаратах. Річ у тому, що при вході в морозильний апарат плоди та ягоди мають вологу поверхню після миття. Тому для її видалення біля конвеєру встановлюють вентилятори. З одного боку, це запобігає грудкуванню заморожених матеріалів і їх налипанню на поверхню конвеєру, а з іншого — призводить до значних втрат електроенергії на роботу вентиляторів апарата, системи керування ними та системи холодопостачання (Масліков, 2003). Вентилятори також забезпечують на етапі флюїдизації необхідну для кожного продукту швидкість повітря: якщо вона буде меншою за оптимальне значення, то шар продукту залишається щільним, якщо більшою — часточки продукту виноситимуться в камери разом з повітрям.

До недоліків заморожування плодів та ягід у тунельних апаратах, в яких матеріали під час заморожування перебувають у стані спокою при транспортуванні стрічковим конвеєром по морозильному тунелю (переважно розсипом) зазнають істотних втрат маси за рахунок усихання; недоліком є також значні витрати електроенергії на роботу вентиляторів, які за даними (Ермольев, 2004), можуть досягати 25% сумарних витрат на заморожування.

Особливістю технології, що застосовується зараз на деяких вітчизняних підприємствах (наприклад, компанія «Агро-Сіріус», Черкаська область), є шокове заморожування сировини. На сьогодні його розглядають як інноваційний підхід у холододових технологіях. Сутність шокового заморожування полягає в тому, що процес відбувається протягом 15—20 хв при температурі $-35...-40^{\circ}\text{C}$ (Шокове, 2017).

Основне завдання промислової або комерційної лінії шокового заморожування ягід і фруктів — це забезпечення майже миттєвої консервації продукту, що дасть змогу зберегти їхню харчову цінність і смакові якості. Зазвичай, вона досягається шляхом швидкого охолодження плодів і ягід до температури в центрі продукту -18°C і нижчої в спеціальних морозильних камерах шокового заморожування, ціна яких сьогодні доступна навіть невеликому бізнесові. Вперше використовувати обладнання для шокового заморожування ягід почали ще в 1910 р., проте сама технологія глибокого заморожування стала популярна тільки в середині 60-х років минулого століття, коли до неї почали застосовувати флюїдизацію.

Найбільшою популярністю користуються два типи камер шокового заморожування: комерційна серія — продуктивність від 65 до 300 кг/год. Такі шафи шокового заморожування варто купувати для невеликих харчових виробництв, кейтерингу і громадського харчування; промислова серія — продуктивність від 220 до 660 кг/год. Це можуть бути цілі лінії шокового заморожування плодів та ягід, камери яких, зазвичай, встановлюють на великих харчових виробництвах, а також супермаркетах і гіпермаркетах.

Для шокового заморожування рослинної сировини розробляється і реалізується спеціальне високотехнологічне обладнання для повітряного, безконтакт-

ного та контактного процесів. Така технологія, здійснена на описаному обладнанні, особливо приваблива для бізнесу, оскільки надає можливість підприємству-виробнику частину своєї продукції заморозити і реалізувати безпосередньо споживачеві за більш високою ціною, ніж свіжу сировину, в будь-якому місці і в будь-який час.

Дуже важливою характеристикою продукції швидкого заморожування є її мікробіологічна та токсикологічна безпека, доведена в працях Раїси Павлюк зі співавторами (Павлюк, & Погарська, 2013). Ще один позитивний ефект швидкого заморожування рослинної сировини позиціонується в цій праці: в ході цього процесу в ягодах після заморожування різко збільшується вміст антоціанів-антиоксидантів (наприклад, у чорноплідній горобині з 452,9 мг% у свіжій ягоді до 1743,4 мг% у швидкозамороженій) і цей показник зберігається протягом 6 місяців.

Відомо, що біологічна цінність плодів та ягід зумовлена наявністю в них вітамінів-антиоксидантів. Ефективне терапевтичне лікування багатьох захворювань досягається синергізмом взаємодії біофлавоноїдів та аскорбінової кислоти. Тому важливим є встановлений факт, що у швидкозамороженій рослинній сировині при холодильному зберіганні втрати вітаміну С складають до 25...30%, а при повільному заморожуванні — зростають до 50% (Tiwarī, O'Donnel, Patras, & Cullen, 2008).

Висновки

Очевидним є те, що технології перероблення харчової сировини з використанням штучного холоду є перспективними не лише з точки зору отримання якісних готових виробів і збільшення тривалості їх холодильного зберігання, а й з можливістю залучати до сировинної бази вторинні, малоцінні та некондиційні продукти, створюючи безвідходні й екологічні технології при значній економії енерго- і матеріальних ресурсів.

Разом з тим практичний досвід показує, що одного лише швидкого або навіть шокового заморожування матеріалів недостатньо для отримання високоякісної плодово-ягідної продукції, яка після дефростації була б максимально ідентичною за всіма показниками свіжій сировині. Тому необхідне детальне вивчення зміни властивостей компонентів харчової сировини при заморожуванні, особливо процесів кристалоутворення, і поєднання методів швидкого заморожування з іншими чинниками для запобігання негативного впливу низьких температур на біооб'єкти.

Література

- Белінська, С. О., Клячин, І. А. (2015). Трансформація форм води при зберіганні та заморожуванні квасолі стручкової овочевої. *Товари і ринки*, 1(19), 154—162.
- Білоус, А. М., Грищенко, В. І. (1994). *Криобіологія*. Київ: Наукова думка.
- Горобець, А. О. (2019). Вітаміни і мікроелементи як специфічні регулятори фізіологічних та метаболічних процесів в організмі дітей та підлітків. *Український журнал Перинатологія і Педіатрія*, 4(80), 75—92. <https://doi.org/10.15574/PP.2019.80.75>.
- Заморська, І. (2018). Оцінка технологічних властивостей ягід суниці садової. *Технічні науки та технології*. Чернівці, 2(12), 216—221.

Заморська, І. Л., Волкова, Т. В. & Сасс А. В. (2020). Інноваційні технології збереження якості замороженої суніці садової для виробництва харчової продукції. *Праці ТДАТУ*, 2, 202—210.

Манк, В. В., Мельник, О. П., Трачевский, В. В. (2011). Роль воды в процессах структурообразования биополимеров. *Химия и технология воды*, 33(6), 666—674.

Масліков, М. М. (2003). Швидке заморожування харчових продуктів. *Холод*, 3, 32—35.

Одарченко, Д. М., Кудряшов, А. І., Штих, С. В., Сю сель, О. О. (2012). Дослідження функціонально-технологічних властивостей заморожених напівфабрикатів на основі дикорослих ягід. *Наукові праці ОНАХТ*, 42(2), 17—20.

Одарченко, Д. М., Кудряшов, А. І. & Бабіч, А. О. (2014). Заморожені напівфабрикати з дикорослих ягід: монографія. Харків: ХДУХТ.

Павлюк, Р. Ю. Погарська, В. В. (2013). Нове в технології отримання заморожених ягід та поре з рекордними характеристиками. *Прогресивні техніки та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*, 1, 3—9.

Павлюк, Р. Ю., Дібрівська, Н. В. (2006). Комплексні дослідження під час розробки технології функціональних пастоподібних оздоровчих добавок із дикорослих ягід. *Вестник Нац. техн. ун-та «ХПИ»: сб. науч. тр. Темат. вып.: Химия, химическая технология и экология*, 25, 154—159.

Павлюк, Р. Ю., Погарська, В. В., Радченко, Л. О. (2019). Відкриття прихованих резервів плодовоовочевої сировини під час виготовлення оздоровчих харчових продуктів для кулінарів світу. *Scientific Journal «ScienceRise»*, 5(58), 57—64. <https://doi.org/10.15587/2313-8416.2019.168943>.

Петрова, В. П. (1985). *Особенности биохимического состава дикорастущих и интродуцированных на Украину дикоплодовых, их ценность как пищевого и лекарственного сырья*. Дис. докт. техн. наук. Одесса.

Петрова, В. П. (1986). *Биохимия дикорастущих плодово-ягодных растений*. Київ: Вища школа.

Плахотний, В., Дорошук, В. (2001). Консервування: охолодження і глибоке заморожування. *Харчова і переробна промисловість*, 5, 23—26.

Пушкар, Н. С., Белоус, А. М. & Иткин, Ю. А. (1987). *Низкотемпературная кристаллизация в биологических системах*: монографія. Київ: Наукова думка.

Сімахіна, Г. О. (2003). Стан води в біологічних матеріалах. *Наукові праці ОНАХТ*, 26, 37—44.

Сімахіна, Г. О., Науменко, Н. В. ... Кочубей-Литвиненко, О. В. (2022). Кріоушкодження та кріозахист у холодних технологіях: монографія. Київ: Сталь.

Сімахіна, Г. О., Науменко, Н. В. (2020). Удосконалений спосіб отримання заморожених ягідних напівфабрикатів. *Харчова промисловість*, 27, 80—88. <https://doi.org/10.24263/2225-2916-2020-27-11>.

Слащева, А. В., Никифоров, Р. П., Зирянов, В. В. (2018). Розробка технології напоїв на основі ягідних вичавок з підвищеним вмістом біофлавоноїдів. *Обладнання та технології харчових виробництв*, 36, 5—13. URL: http://elibrary.donnuet.edu.ua/1060/1/Slashcheva_article_26_06_2018.pdf.

Українець, А. І., Сімахіна, Г. О. ... Кочубей-Литвиненко, О. В. (2017). *Нові продукти для раціональної військовослужбовців*: монографія. Київ: Сталь.

Хомич, Г. П., Капрельянц, Л. В. (2013). *Фенольні сполуки дикорослих плодів і ягід: склад, властивості, зміни при переробці*: монографія. Полтава: ПУЕТ.

Чумак, І. Г., Старчевський, І. П., Кочетов, В. П. (2000). Концепція створення сучасної системи зберігання сільськогосподарської продукції в Україні. *Холодильна техніка і технологія*, 65, 10—15.

Шокове (2017). Шокове заморожування ягід. Що це? URL: <https://holodprom.com.ua/ua/shokovaya-zamorozka-yagod>.

Abdelgavad, K. F., El-Mogy, M. M., Mohamed, M. I. (2019). Increasing Ascorbic Acid Content

and Salinity Tolerance of Cherry Tomato Plants by Suppressed Expression of the Ascorbate Oxidase Gene. *Agronomy*, 9(2), 1—14.

Bolon, D. N., Mayo, S. L. (2001). Enzyme-like proteins by computational design. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 98, 14274—14279.

Dennis, C., Stringer, M. (2012). *Chilled Foods: A Comprehensive Guide*. Chichester: Ellis Horwood Ltd.

Farshi, A. (2013). Experimental Measurement of Different Fluidization Parameters. *Petroleum and Coal*, 55(4), 311.

Franks, F. (2000). *Water: A Matrix of Life*. London. <https://doi.org/10.1039/9781847552341>.

Maslikov, M. & Polischuk, G. (2013). Unit for Food's Temperature Control during Their Refrigeration. *Ukrainian Journal of Food Science*, 1(2), 194—198.

Osuga, D., Van Der Schaaf, A., Whitaker, J. R. (2004). Control of polyphenol oxidase activity using a catalytic mechanism. *Protein Structure-Function Relationships in Foods*. Scotland, 62—88.

Schwartz, A. (2002). Solutions and solution properties. URL: <https://www.sciencedirect.com/book/9780750670128/handbook-of-industrial-crystallization>.

Somogyi, R. (1992). Effects of Chronic Central Cooling on Alimentation and Thermoregulation. *Acta Physiologica Scandinavica*, 55(2—3), 177—188.

Tiwari, B. K., O'Donnell, C. P., Patras, A., Cullen, P. J. (2008). Anthocyanin and ascorbic acid degradation in sonicated strawberry juice. *J Agric Food Chem.*, 21, 10071—10077.

Zachariassen, K. E. (2005). Freezing and Supercooling of Water. *Water Encyclopedia*. <https://doi.org/10.1002/047147844X.pc1502>.

Zhou, Bo, Liu, Zhong-Li (2005). Bioantioxidants: from chemistry to biology. *Pure and Applied Chemistry*, 77(11), 1887—1903. <https://doi.org/10.1351/pac200577111887>.

MODERN FILTRATION TECHNOLOGIES WITH NATURAL MODIFIED MATERIALS TO IMPROVE THE QUALITY OF ALCOHOLIC PRODUCTS

L. Tarasiuk, S. Oliinyk, M. Karputina

National University of Food Technologies

Key words:

*Technology
Vodka production
Filtration
Water preparation
Prepared water
Water-alcohol mixture
Natural opal
Rauchtopaz
Quartz sand*

Article history:

Received 04.07.2022
Received in revised form
19.07.2022
Accepted 17.08.2022

Corresponding author:

L.A. Tarasiuk
E-mail:
ltarasyik@ukr.net

ABSTRACT

The article presents the results of the research of filtering non-traditional modified natural materials — natural opal and rauchtopyaz in comparison with quartz sand for improving the method of mechanical filtering during water preparation in the production of liquor and vodka products.

During the research, organoleptic, physicochemical, capillaphoretic and spectrophotometric methods of analysis, theoretical generalization and comparison of results, and a systematic approach were used.

A comparative evaluation of the methods and filter materials used in the technology of water conditioning and purification of water-alcohol mixtures was carried out. It was established that the studied natural opal and rauchtopyaz are more chemically resistant in comparison with the control sample of quartz sand, and the consumption of hydrochloric acid solution and water prepared during the stages of preparation and washing of filter modified materials was also determined.

It was determined that due to the high intergranular porosity of the studied filter materials, the volume of prepared water increases: by 110—130 vol./vol. FM, rauchtopyazom — at 350—450 rpm. FM.

It was found that filtering with natural opal and rauchtopyaz allows to increase the cleaning effect and improve the transparency of the prepared water and water-alcohol mixture in comparison with the source water and sorting, which was filtered with a control sample of quartz sand.

The effects of cleaning the water-alcohol mixture with the studied modified materials and increasing its tasting rating and oxidizability, removal of unwanted organic micro-impurities of sorting after processing was studied.

The prospect of using modified materials of natural opal and rauchtopyaz during water conditioning and filtering the water-alcohol mixture in the production of liquor-vodka products was proven.

СУЧАСНА ТЕХНОЛОГІЯ ФІЛЬТРУВАННЯ ПРИРОДНИМИ МОДИФІКОВАНИМИ МАТЕРІАЛАМИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЛІКЕРО-ГОРІЛЧАНОЇ ПРОДУКЦІЇ

Л. А. Тарасюк, С. І. Олійник, М. В. Карпутіна

Національний університет харчових технологій

У статті представлено результати дослідження фільтрувальних нетрадиційних модифікованих природних матеріалів — природного опалу та раухтопазу у порівнянні з кварцовим піском з метою удосконалення способу механічного фільтрування під час підготування води у виробництві лікєро-горілчаної продукції.

Під час досліджень використовували органолептичні, фізико-хімічні, капілярорфоретичні та спектрофотометричні методи аналізу, теоретичне узагальнення і порівняння результатів, системний підхід.

Проведено порівняльну оцінку способів і фільтрувальних матеріалів, які використовують у технології кондиціювання води й очищення водно-спиртових сумішей. Встановлено, що досліджувані природний опал і раухтопаз є більш хімічностійкими порівняно з контрольним зразком кварцового піску, а також визначено витрати розчину соляної кислоти та води, підготовленої під час стадій підготування та промивання фільтрувальних модифікованих матеріалів.

Визначено, що за рахунок високої міжзернової пористості досліджуваних фільтрувальних матеріалів збільшується обсяг підготовленої води: опалом на 110—130 об./об. ФМ, раухтопазом — на 350—450 об./об. ФМ.

З'ясовано, що фільтрування природним опалом і раухтопазом дає змогу збільшити ефект очищення та покращити прозорість підготовленої води і водно-спиртової суміші порівняно з вихідною водою та сортівкою, які було профільтровано контрольним зразком кварцового піску. Доведено перспективність використання модифікованих матеріалів природного опалу і раухтопазу для кондиціювання води та фільтрування водно-спиртової суміші у виробництві лікєро-горілчаної продукції.

Ключові слова: технологія, лікєро-горілчане виробництво, фільтрування, водопідготовка, вода підготовлена, водно-спиртова суміш, модифіковані, природний опал, раухтопаз, кварцовий пісок.

Постановка проблеми. Приготування різних видів напоїв передбачає застосування високоякісної води, а один із пріоритетних напрямків розвитку харчової галузі — удосконалення кондиціювання води та фільтрування водно-спиртової суміші в лікєро-горілчаному виробництві.

Вибір способу підготовки води залежить від мікрокомпонентного складу питної води, асортименту алкогольної продукції, продуктивності й технології виробництва. Згідно з Виробничим регламентом під час одержання підготов-

леної води, яка відповідатиме вимогам СОУ 15-37-237 «Вода підготовлена для лікєро-горілочного виробництва. Технічні вимоги», обов'язковим є спосіб механічного фільтрування.

У технологіях водопідготовки для виробництва напоїв широко застосовують напірні технологічні схеми з багатоступеневим фільтруванням. У питній воді може міститися значна кількість домішок у зваженому та колоїдному стані, тому для очищення води від цих домішок використовують реагентні та безреагентні схеми водопідготовки. Для безреагентного очищення води від зависей застосовують методи відстоювання, фільтрування крізь фільтри з нерухомим завантаженням зернистого матеріалу (пісок, гравій, гарнет тощо) (Іванов та ін., 2012; Олійник, Ковальчук, Опанасюк, & Ловягін, 2012; Balcerek, Pielech-Przybylska, Patelski, Dziekonska-Kubczak, & Jusel, 2017).

Окрім матеріалів для фільтрування води (далі — ФМ), використовують керамічні, рукавні, картриджні фільтри. Початковою стадією в установках водопідготовки є фільтрування на механічних фільтрах, які заповнені гравієм і кварцовим піском різних фракцій. (Олійник, Ковальчук, Опанасюк, & Ловягін, 2012; Balcerek, Pielech-Przybylska, Patelski, Dziekonska-Kubczak, & Jusel, 2017; Siristova, Pinosilova, Riddellova, Hajslova, & Melzoch, 2012).

Останнім часом здійснюються дослідження, спрямовані на повернення підготовленої води та обробленої водно-спиртовій суміші природної свіжості. Одним із таких напрямів є удосконалення технології фільтрування та структурування природними мінералами (Anozie, Okuhon, & Osulale, 2010; Balcerek, Pielech-Przybylska, Patelski, Dziekonska, & Jusel, 2017; Ignatov, Mosin, & Strommer, 2016; Jurgelane, & Locs, 2021; Darroudi et al., 2011; McCusker, & Baerlocher, 2001).

Традиційними матеріалами для завантаження фільтрів пісочних є кварцовий пісок і подрібнений антрацитовий матеріал.

У технології приготування високоякісних горілок і горілок особливих має важливе значення стійкість готової продукції, тому необхідним є застосування фільтрувальних і фільтрувально-сорбційних матеріалів спрямованої дії (Kesraouiouki, & Cheeseman, 2004; Wang, & Peng, 2010; Kyoung-Su et al., 2011; Armbruster, & Gunter, 2001).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження вітчизняних (Олійник, Ковальчук, Опанасюк, & Ловягін, 2012; Гончарук та ін., 2012) та зарубіжних науковців (Anozie, Okuhon, & Osulale, 2010; Balcerek, Pielech-Przybylska, Patelski, Dziekonska, & Jusel, 2017) показали недостатню ефективність застосування кварцового піску в сучасних умовах лікєро-горілочного виробництва. Зокрема, основними причинами є (Ignatov, Mosin, & Strommer, 2016; Jurgelane, & Locs, 2021; Darroudi et al., 2011; McCusker, & Baerlocher, 2001):

- значні витрати води під час підготовки до робочого циклу на регенерацію шляхом промивання фільтрувального матеріалу;

- використання прекурсуру соляної кислоти, що використовується на стадії підготовки матеріалу до роботи для видалення з поверхні вапнякових відкладень, що негативно позначається на екології виробництва і здоров'ї працівників.

Ряд дослідників (McCusker, & Baerlocher, 2001; Kesraouiouki, & Cheeseman, 2004; Wang, & Peng, 2010; Kyoung-Su et al., 2011; Armbruster, & Gunter, 2001) для очищення води і водно-спиртових сумішей та інших продуктів використовують

природний вуглець, що містить адсорбент — природний матеріал шунгіт, який має високі адсорбційні властивості, механічну стійкість і є екологічно безпечним сорбентом. Шунгіт — це велика група докембрійських гірських порід, насичених особливою вуглецевою (шунгітовою) речовиною, яка має найбільшу серед відомих форм елементарного вуглецю хімічну активність в окисновідновних процесах, що обумовлена наявністю в його складі особливої модифікації вуглецю фулерену (McCusker, & Baerlocher, 2001; Kesraouiouki, & Cheeseman, 2004; Wang, & Peng, 2010; Kyoung-Su et al., 2011; Armbruster, & Gunter, 2001).

Проаналізовано ефективність очищення води і водно-спиртової суміші за різної тривалості взаємодії з природним фулереном шунгітом. Хоча шунгіт є ефективним матеріалом для вилучення шкідливих домішок з води і сортування, він має високу вартість, а його використання у виробництві напоїв є дуже обмеженим (McCusker, & Baerlocher, 2001; Kesraouiouki, & Cheeseman, 2004; Wang, & Peng, 2010; Kyoung-Su et al., 2011; Armbruster, & Gunter, 2001). Оскільки родовища шунгітових порід відсутні в Україні, то використання цього природного матеріалу є економічно не доцільним.

Можливості очищення шунгітом і клиноптилолітом визначали науковці у статичному режимі за адсорбцією домішок, які можуть як позитивно, так і негативно впливати на якість профільрованої води і водно-спиртових сумішей (Kesraouiouki, & Cheeseman, 2004; Wang, & Peng, 2010; Іванов та ін., 2012). Висновок щодо поліпшення якості неможливо перенести на технологію горілок, оскільки фільтрування здійснювали не в статичному, а в динамічному режимі за широкого діапазону швидкості оброблення (Іванов та ін., 2012; Kesraouiouki, & Cheeseman, 2004; Melnyk, Turchun, Tkachuk, Kutz, & Melnyk, 2014).

Рекомендовано для оброблення води і сортівки використання мікропористого мінералу — кремнієподібного силіциду з широкою мікропористою структурою, який має твердість 100% і багаторазово реактивується (Anozie, Okuhon, & Osulale, 2010). Під час оброблення води цим матеріалом покращуються органолептичні та фізико-хімічні показники готового продукту такі як: прозорість, смак і запах, окиснюваність перманганатна, при цьому не збільшується вміст силікатів і карбонатів (Širíšťová, Přinosilová, Riddellová, Hajšlová, & Melzoch, 2012).

Потрібно зазначити, що останнім часом значна увага приділяється розширенню спектра застосування природних кремнеземів та алюмосилікатів, серед яких кремій, опал, раухтопаз, альмандин тощо (Siristova, Prinosilova, Riddellova, Hajšlova, & Melzoch, 2012; Anozie, Okuhon, & Osulale, 2010; Гончарук та ін., 2012). Наведені дані свідчать про актуальність досліджень природних модифікованих матеріалів для фільтрування води і водно-спиртових сумішей у лікero-горілково-му виробництві.

Мета дослідження: дослідити вплив природних модифікованих матеріалів на фізико-хімічні та органолептичні показники підготовленої води і водно-спиртових сумішей лікero-горілкового виробництва.

Матеріали і методи. Під час досліджень використовували:

- воду питну київської міської мережі та підготовлену, яку готували шляхом механічного фільтрування кварцовим піском та досліджуваними матеріалами, пом'якшення і сорбційного очищення;
- водно-спиртову суміш (сортівку) міцністю 40% об., приготовану на ТОВ

«БРЕНДБАР» шляхом додавання до розрахованої кількості спирту етилового ректифікованого сорту «Люкс» розрахованої кількості води підготовленої. Спирт етиловий ректифікований сорту «Люкс» використовували з об'ємною часткою етилового спирту — 96,5%, масовою концентрацією альдегідів, у перерахунку на оцтовий альдегід у безводному спирті, мг/дм³ — 1,8, масовою концентрацією сивушного масла, в перерахунку на суміш ізоамілового та ізобутилового спиртів 1:1, в безводному спирті, мг/дм³ — 0,5, масовою концентрацією естерів, у перерахунку на оцтово-етиловий естер в безводному спирті, мг/дм³ — 1,0, об'ємною часткою метилового спирту у перерахунку на безводний спирт, % — 0,007, пробу на чистоту — витримує, проба на окиснюваність — 25 хв;

- кварцовий пісок (контрольний зразок) з фракційним складом 1—5 мм, вологістю 6%, зольністю 7%, механічною міцністю — 98%;

- природний опал і раухтопаз модифіковані наночастками срібла з фракційним складом 1—5 мм, вологістю — 5%, зольністю — 6%, механічною міцністю — 99%.

Фільтрувальні матеріали завантажували окремо у спеціальний фільтр діаметром 100 мм та висотою 500 мм: № 1 — природний опал, № 2 — раухтопаз, № 3 — кварцовий пісок. Висота шару кожного фільтрувального матеріалу у фільтрі становила 400 мм.

Фільтрування води або водно-спиртової суміші проводили у фільтрі, заповненому відповідним фільтрувальним матеріалом.

Дослідження з визначення ефективності очищення води чи водно-спиртової суміші до та після її очищення модифікованими природними матеріалами та кварцовим піском за органолептичними та фізико-хімічними показниками, катіонно-аніонним складом проводили у динамічному режимі у перерахунку на швидкість фільтрування води 8—10 м³/год, бортівки — 60 дал/год.

Для вирішення поставлених завдань було застосовано такі методи аналізу:

- органолептичні дослідження водно-спиртової суміші проводили дегустаційним оцінюванням згідно з ДСТУ 4165 та ДСТУ 4979;

- фізико-хімічні визначення масової концентрації альдегідів, у перерахунку на оцтовий альдегід в безводному спирті, сивушного масла в перерахунку на суміш ізоамілового та ізобутилового спиртів 1:1 в безводному спирті, естерів у перерахунку на оцтово-етиловий естер в безводному спирті проводили фотоколориметричним методом із застосуванням фотоелектроколориметра марки КФК-2 згідно з ДСТУ 4165;

- лужність (об'єм соляної кислоти $c(\text{HCl}) = 0,1$ моль/дм³, витрачений на титрування 100 см³ горілки) визначали титриметричним методом — згідно з ДСТУ 4165;

- міцність — ареометричним методом згідно з ДСТУ 4165;

- об'ємну частку метилового спирту у перерахунку на безводний спирт та масову концентрацію ацетальдегіду, 2-пропанолу, 1-пропанолу, ізобутанолу, метил-ацетату газохроматографічним методом (газовий хроматограф «Кристал-2000М») згідно з ДСТУ 4222;

- визначення ефекту очищення та прозорості здійснювали спектрофотометричним методом згідно з ДСТУ 5068 із застосуванням спектрофотометра Specord UV;

- катіонно-аніонний склад капілярно-електрофоретичним методом (система капілярного електрофорезу «КАПЕЛЬ-105») згідно з ДСТУ 4801 та ДСТУ 4932;
- прогнозовану стійкість тестуванням сортівки до та після її очищення, встановленням змін фізико-хімічних показників продукції після її витримки за критичних умов і контрольним зразком за масивом запасу параметра до критичної межі згідно з ДСТУ 7397.

Викладення основних результатів дослідження. Встановлено, що досліджувані ФМ — раухтопаз та опал, є хімічно стійкими до розчинів кислот і лугів, що збільшує тривалість їх експлуатації, дає змогу зменшити витрати розчину соляної кислоти та води на стадіях підготовки та промивання (рис. 1, 2).

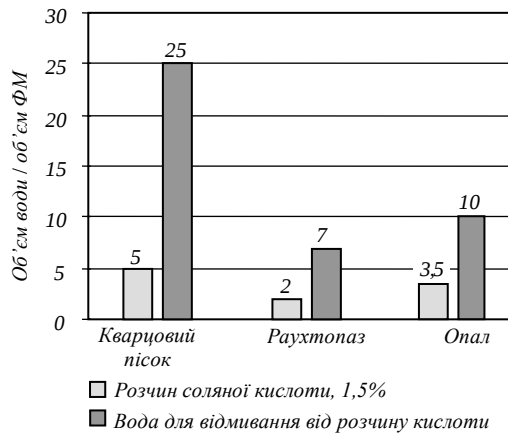


Рис. 1. Оптимальні технологічні параметри підготовки ФМ

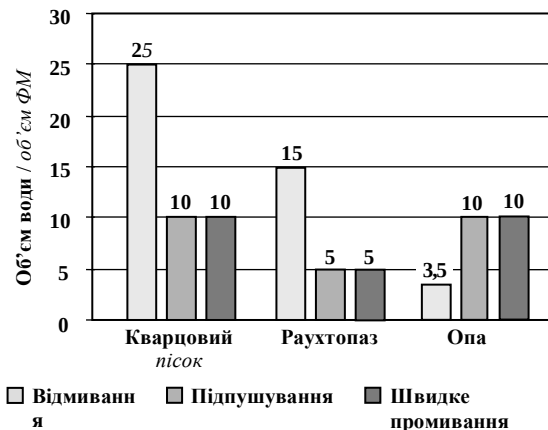


Рис. 2. Оптимальні технологічні параметри регенерації ФМ

Встановлено, що під час підготовки до роботи порівняно з контрольним зразком зменшуються витрати:

- розчину соляної кислоти: для раухтопазу — у 2,5 раза, для опалу — у 1,4 раза;

- води на відмивання від розчину кислоти: для раухтопазу — у 3,5 раза, для опалу — у 2,5 раза.

Показано, що у порівнянні з контрольним зразком кварцового піску досліджувані матеріали потребують менших питомих витрат води на стадії:

- відмивання: для раухтопазу — у 1,6 раза, для опалу — у 1,3 раза;
- регенерації під час підпушування та швидкого промивання: для раухтопазу — у 2 рази, для опалу — у 1,25 раза.

Оптимальний вибір фільтрувального завантаження визначає ефективність фільтрування, яке залежить від властивостей фільтрувального матеріалу (фракційного складу, форми зерен та їх шорсткості), а також від геометричної структури шару (однорідності та міжзернової пористості).

Міжзернова пористість шару фільтрувального матеріалу залежить від крупності і однорідності фракцій матеріалу, а також форми його зерна, тому важливим параметром, що характеризує фільтрувальний матеріал, є коефіцієнт форми. Особливістю досліджуваних раухтопазу та природного опалу є те, що форма їх зерен наближається до кулястої форми і коефіцієнт є дещо більшим 1. Це буде позитивно впливати на тривалість фільтрувального циклу, який закінчується, коли спостерігається проскоч (винесення) затриманих забруднень внаслідок їх надмірної кількості і винесення з периферійних шарів фільтрувального матеріалу.

Міжзернова пористість матеріалу впливає також на ефективність процесу фільтрування, яка залежить від властивостей фільтрувального завантаження, концентрації забруднень у вихідній воді та режиму фільтрування.

Міжзернова пористість фільтрувальних матеріалів — відношення сумарного об'єму міжзернових пор до загального об'єму фільтрувального матеріалу знаходиться в межах від 0,38 до 0,75.

Розрахунковим методом встановлено міжзернову пористість досліджуваних матеріалів порівняно з контрольним зразком кварцового піску (рис. 3).

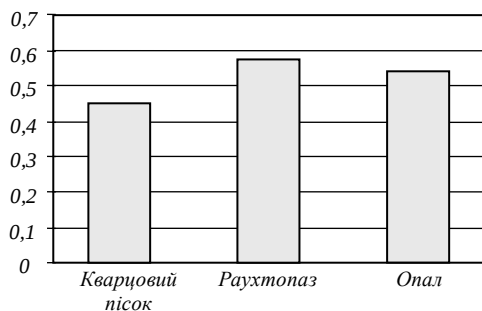


Рис. 3. Міжзернова пористість фільтрувальних матеріалів

Більша міжзернова пористість раухтопазу на 20%, опалу на 15% позитивно впливає на тривалість фільтрувального циклу та дає змогу збільшити вихід підготовленої води: опалом на 110—130 об./об. ФМ, раухтопазом — на 350—450 об./об. ФМ (рис. 4, табл. 1).

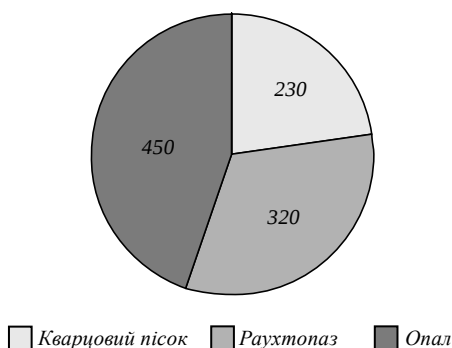


Рис. 4. Залежність виходу підготовленої води від застосовуваного ФМ, об./об. ФМ

На основі проведених досліджень встановлено раціональні технологічні параметри фільтрування, які наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Витрати допоміжних матеріалів під час фільтрування досліджуваними ФМ

Технологічна операція	Лінійна швидкість, м/год (згідно з ТР У 18.5084	Відносний об'єм, об./об. ФМ		
		Кварцовий пісок (контроль)	Раухтопаз	Опал
Підготування ФМ:				
- оброблення розчином соляної кислоти 0,5%	5	5	2	3,5
- відмивання від розчину соляної кислоти питною водою	10—12	25	7	10
Основна стадія фільтрування води ФМ	10—12	1000	1400	1200
Регенерування ФМ питною водою:				
- відмивання (протиток)	8—10	25	15	18
- підпушування вихідною водою (протиток)	10	10	5	8
- швидке промивання (прямоток)	15	10	5	8

Встановлено, що на стадії підготування, завдяки меншому вмісту зольних елементів на зернистій поверхні та у фільтрувальному матеріалі, спостерігається зменшення витрат:

- розчину соляної кислоти для раухтопазу — у 2,5 раза, для природного опалу — у 1,4 раза;
- питної води під час відмивання від розчину соляної кислоти для раухтопазу — у 3,5 раза, для природного опалу — у 2,5 раза.

На стадії регенерування, завдяки оптимальній міжзерновій пористості, зменшуються витрати промивної води:

- під час відмивання зворотним током води для раухтопазу — у 1,6 раза, для

- природного опалу — у 1,3 раза;
 - під час підпушування вихідною водою зворотним током води та під час швидкого прямотокового промивання для раухтопазу — у 2 рази, для природного опалу — у 1,25 раза.

Встановлено ефективність очищення води від домішок заліза, алюмінію, органічними сполуками (рис. 5), за органолептичними (табл. 2) та фізико-хімічними показниками (табл. 3) води до і після фільтрування досліджуваними ФМ.

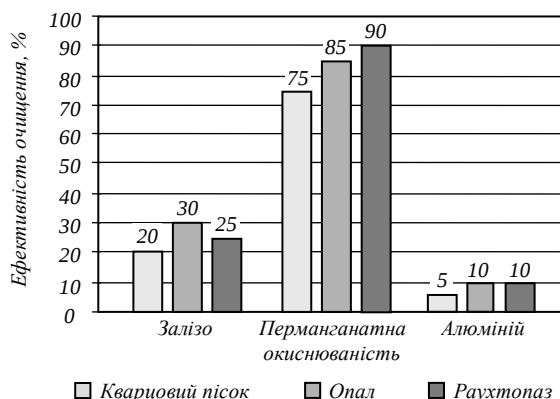


Рис. 5. Ефективність очищення води ФМ

Таблиця 2. Органолептичні та фізико-хімічні показники води до і після фільтрування досліджуваними ФМ (n = 3, P ≥ 0,95)

Назва показника, одиниця виміру	Вимоги СОУ 15.9-37-237 [2]	Вода питна	Значення показника після фільтрування води через		
			кварцовий пісок (контроль)	раухтопаз	опал
Смак і присмак, бал	0	1	1	0	0
Запах за температури 20 °С і під час нагрівання води до температури 60 °С, бал	0	1	1	0	0
Забарвленість, градус	не більше 2	10	2	0	0
Прозорість, %	не менше 98	90	98	100	99,5
Мутність, мг/дм ³	не більше 0,02	1	0,01	0,00	0,00
Лужність вільна, ммоль/дм ³	не більше 0,002	0	0,005	0	0
Водневий показник, од. рН	від 6,0 до 8,0	6,7	6,9	7,2	7,0
Масова концентрація, мг/дм ³ :					
силікатів	не більше 7,0	3,5	4,0	3,5	3,5
сульфатів	не більше 50,0	12,0	15,0	10,0	12,0
фосфатів	не більше 0,1	0,05	0,04	0,038	0,004

За результатами досліджень встановлено, що під час фільтрування води раухтопазом та опалом порівняно з контрольним зразком кварцового піску:

- забезпечується кондиціонування води за органолептичними показниками, при цьому значення забарвленості та мутності зменшувались на 100 %;
- не спостерігається збільшення вільної лужності (вмісту карбонатів), а також вмісту силікатів, фосфатів і сульфатів у фільтраті;
- перманганатна окиснюваність зменшується на 20%.

Оскільки раухтопаз та опал є мікропористими мінералами, це впливає і на покращення дегустаційної оцінки води, підготовленої за показниками смаку й аромату на один бал.

Вища міжзернова пористість раухтопазу та природного опалу сприяє підвищенню ефективності очищення:

- раухтопазом від домішок заліза та алюмінію на 5%, органічних домішок — на 15%;
- природним опалом від домішок алюмінію на 5%, заліза та органічних домішок — на 10%.

Одержані дані експериментальних досліджень свідчать, що у воді, підготовленій за допомогою досліджуваних ФМ, спостерігається підвищення прозорості, що корелює з отриманими даними ефекту до та після очищення мінералами (рис. 6), який є вищим порівняно з контрольним зразком і становить для раухтопазу — 20%, природного опалу — 15%.

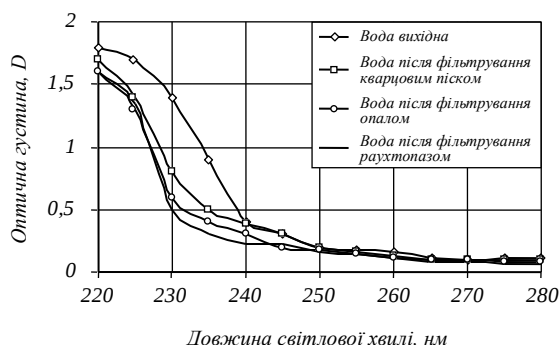


Рис. 6. Ефект очищення води досліджуваними матеріалами

Проаналізовано якість очищення сортівки до та після її фільтрування досліджуваними модифікованими природними матеріалами порівняно з кварцовим піском (табл. 3).

Таблиця 3. Фізико-хімічні показники сортівки до та після її очищення природними модифікованими матеріалами порівняно з контрольним зразком кварцового піску

Назва показника, одиниця вимірювання	Вимоги ДСТУ 4256	Результати випробувань		
		вихідна ВСС	після очищення	
			раухтопазом	опалом
1	2	3	4	5
Лужність — об'єм соляної кислоти $c(\text{HCl}) = 0,1 \text{ моль/дм}^3$, витрачений на титрування 100 см^3 горілки, см^3	не більше 3,5	$0,3 \pm 0,03$	$0,3 \pm 0,03$	$0,3 \pm 0,03$

1	2	3	4	5
Масова концентрація альдегідів у перерахунку на оцтовий альдегід у безводному спирті, мг/дм ³	не більше 4,0	1,8 ± 0,15	1,8 ± 0,15	1,9 ± 0,15
Масова концентрація ацетальдегіду в безводному спирті, мг/дм ³	не більше ніж 4,0	1,4 ± 0,15	1,5 ± 0,15	1,5 ± 0,15
Масова концентрація сивушного масла в перерахунку на суміші зоамілового та ізобутилового спиртів (1:1) у безводному спирті, мг/дм ³	не більше 3,0	0,70 ± 0,15	0,5 ± 0,15	0,6 ± 0,15
Масова концентрація сивушного масла (<i>n</i> -пропанолу, ізопропанолу, <i>n</i> -бутанолу, ізобутанолу, ізоамілового спирту) в безводному спирті, мг/дм ³	не більше ніж 4,0	1,20 ± 0,15	1,0 ± 0,15	1,0 ± 0,15
Масова концентрація естерів у перерахунку на оцтовоїловий естер у безводному спирті, мг/дм ³	не більше ніж 5	0,8 ± 0,25	0,95 ± 0,25	1,25 ± 0,25
Масова концентрація естерів (метилацетату, етилацетату, етилбутирату, ізобутил-ацетату, ізоамілацетату) в безводному спирті, мг/дм ³	не більше ніж 5	1,5 ± 0,25	0,8 ± 0,25	0,9 ± 0,25
Об'ємна частка метилового спирту в перерахунку на безводний спирт, %	не більше ніж 0,01	0,003 ± 0,001	0,003 ± 0,001	0,003 ± 0,001
Дегустаційна оцінка, бали	9,5	9,5	9,7	9,65

Модифіковані природний опал і раухтапаз є мікропористими матеріалами, тому під час фільтрування забезпечується часткове сорбування мікродомішок спирту. При цьому спостерігали зменшення в очищених водно-спиртових сумішах масової концентрації:

- сивушного масла (*n*-пропанолу, ізопропанолу, *n*-бутанолу, ізобутанолу, ізоамілового пирту) в безводному спирті під час фільтруванням раухтопазом — на 30%, опалом — на 20%;

- естерів (метилацетату, етилацетату, етилбутирату, ізобутил-ацетату, ізоамілацетату) у безводному спирті раухтопазом — на 33%, опалом — на 25%.

На рис. 7 та 8 наведено результати прозорості та окиснюваності водно-спиртової суміші, яку було підготовлено за допомогою досліджуваних ФМ.

Одержані дані експериментальних досліджень свідчать, що у водно-спиртових сумішах, приготованих на воді, підготовлених за допомогою природних модифікованих матеріалів раухтапазу та опалу, покращується значення прозорості — на 1—1,5%, окиснюваності — на 15%, загальної дегустаційної оцінки — на 10%, що позитивно позначається на якості готової продукції.

Для прогнозування можливих помутнінь, випадання осадів було визначено масову концентрацію катіонів та аніонів до та після фільтрування сортівки досліджуваними матеріалами (табл. 4).

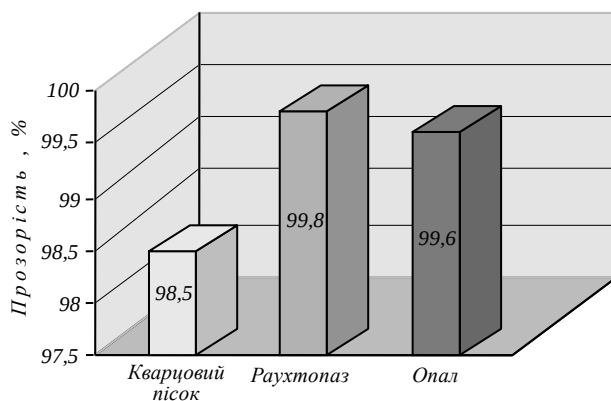


Рис. 7. Залежність прозорості водно-спиртової суміші під час фільтрування досліджуваними ФМ

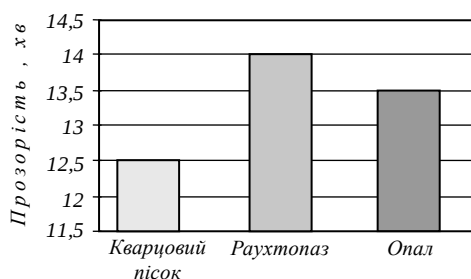


Рис. 8. Залежність окиснюваності водно-спиртової суміші під час фільтрування досліджуваними ФМ

Таблиця 4. Аніонний і катіонний склад сортівки до та після очищення досліджуваними матеріалами (n = 3, P ≥ 0,95)

Масова концентрація, мг/дм ³	Результат випробувань сортівки			
	вихідної	Після фільтрування		
		кварцовим піском (контроль)	раухтопазом	природним опалом
Амонію	0,005	0,005	менше 0,002	0,005
Калію	10,0	12,0	10,0	12,0
Натрію	5,0	10,0	5,0	8,0
Магнію	0,2	1,3	0,2	0,5
Кальцію	0,2	1,3	0,2	0,5
Хлоридів	1,5	5,0	1,3	2,5
Нітритів	0,002	0,002	менше 0,001	0,002
Сульфатів	10	14	10	12
Нітратів	0,03	0,03	0,02	0,03
Фторидів	0,06	0,05	0,05	0,05
Фосфатів	0,03	0,05	0,02	0,03
Силікатів	1,3	2,5	1,3	1,5

Встановлено, що зміна масової концентрації катіонів калію та натрію, аніонів хлоридів, нітратів, фторидів, фосфатів до та після фільтрування сортівки раухто-

пазом та опалом є незначною. Визначено, що порівняно з контрольним зразком кварцового піску масова концентрація кальцію та магнію, силікатів у сортивці після фільтрування раухтопазом не змінюється за рахунок його високої хімічної стійкості, що буде позитивно впливати на стабільність готової продукції під час її зберігання.

Висновки

На основі теоретичних і експериментальних досліджень науково обґрунтовано, що досліджувані модифіковані природні фільтрувальні матеріали раухтопаз та опал дають змогу:

1. За рахунок вищої, порівняно з контрольним зразком, механічної і хімічної міцності та міжзернової пористості зменшити витрати води на підготовку до роботи та регенерацію, а також витрати розчину соляної кислоти на стадії підготування до роботи.

2. Збільшити питомий вихід підготовленої води на 10—45% за рахунок більшої міжзернової пористості досліджуваних зразків опалу та раухтопазу.

3. Підвищити прозорість підготовленої води на 0,3—0,4% та збільшити ефективність очищення води на 15—20% за рахунок зменшення вмісту заліза, алюмінію та органічних сполук, які характеризуються показником перманганатної окиснюваності, на 5—15%.

4. Застосовувати модифіковані опал та раухтопаз як фільтрувальні матеріали для механічного очищення водно-спиртової суміші у фільтрах попереднього та остаточного фільтрування вугільно-очисної батареї.

Література

Гончарук, В. В., Чеботарева, Р. Д., Баштан, С. Ю., Косоруков, А. А., Демченко, В. Я., Каганов В. Я. (2012). Влияние кремня на минеральный состав воды. *Химия и технология воды*, 34(3), 249—259. Взято з: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/130711/05-Goncharuk.pdf?sequence=1>.

Іванов, С.В. (2012). *Інноваційні технології продуктів бродіння і виноробства*. Київ: НУХТ.

Олійник, С. І., Ковальчук, В. П., Опанасюк, Т. І., Ловягін, О. М. (2012). Інноваційна технологія фільтрування води для виробництва лікєро-горілкової продукції. *Наукові праці ОНАХТ*, 2(42), 235—237. Взято з: <http://library.nuft.edu.ua/ebook/file/oliynik.pdf>.

Anozie, A. N., Okuhon, E. E., Osuolale, F. N. (2010). Dehydration of ethanol-water mixture using activated carbons from sawdust and palm kernel shells. *Separation Science and Technology*, 45(10), 1482—1489. <https://doi.org/10.1080/01496391003775998>

Armbruster, T., Gunter, M. (2001). Crystal structures of natural zeolites. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 45(1):1—67. <https://doi.org/10.2138/rmg.2001.45.1>.

Balcerek, M., Pielech-Przybylska, K. Patelski, P., Dziekońska-Kubczak, U., Jusel, T. (2017). Treatment with activated carbon and other adsorbents as an effective method for the removal of volatile compounds in agricultural. *Food Add Cont.*, 34(5), 714—727. <https://doi.org/10.1080/19440049.2017.1284347>.

Daroudi, M., Ahmad, M., Zamiri, R. et al. (2011). Time-dependent effect in green synthesis of silver nanoparticles. *International Journal of Nanomedicine*, 6, 677—681.

Durali Danabas, Tulay Altun. (2011). Effects of zeolite (Clinoptilolite) on some water and growth parameters of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792). *Digest journal of Nanomaterials and Biostructures*, 3, 1111—1116.

Ignatov, I., Mosin, O., Strommer, S. (2016). Nano Mix of Shungite and Zeolite for Cleaning of Toxins and Increasing of Energy of Hydrogen Bonds among Water Molecules in Human Body.

Strommer Journal of Medicine. Physiology and Biophysics, 27, 1—10.

Jurgelane, I., Locs, J. (2021). Shungite application for treatment of drinking water — is it the right choice? *Water Health*, 19(1), 89—96. doi: <https://doi.org/10.2166/wh.2020.139>.

Kesraouiouki, C. R., Cheeseman, R. P. Natural zeolite utilisation in pollution control: a review of applications to metals effluents. (2004). *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 59, 121—129.

Kyoung-Su, H., Yun-Jo, L., Jong Wook, B., Ye Won, K., Min Hee, W., Hyo-Sik, K. et al. (2011). *Applied Catalysis: A: General*, 395, 95—106.

Melnyk, L., Turchun, O., Tkachuk, N., Kutz, A., Melnyk, Z. (2014). Water-alcohol adsorbing cleaning out of higher alcohols by shungite. *Ukrainian Journal of Food Science*, 2(2), 312—317.

McCusker, L., Baerlocher, C. (2001). Zeolite structures. Introduction to zeolite science and practice. *Studies in Surface Sci. and Catalysis*, 137, 37.

Siristova, L., Prinosilova, S., Riddellova, K., Hajslova, J., Melzoch, K. (2012). Changes in quality parameters of vodka filtered through activated charcoal. *Czech J. Food Sci.*, 30, 474—482. doi: 10.17221/361/2011-CJFS.

Wang, S., Peng, Y. (2010). Natural zeolites as effective adsorbents in water and wastewater treatment. *Chemical Engineering Journal*, 156(1), 11—24.

THE INFLUENCE OF POLYSACCHARIDE COMPOSITIONS ON THE INTENSITY OF RESPIRATION AND THE QUALITY OF CHERRY FRUITS DURING STORAGE

O. Vasylyshyna

Uman National University of Horticulture

Key words:

*Cherry fruits
Storage
Carrageenan
Tannins and dyes
Antioxidant activity*

Article history:

Received 11.07.2022
Received in revised form
25.07.2022
Accepted 18.08.2022

Corresponding author:

O.V. Vasylyshyna
E-mail:
elenamila@i.ua

ABSTRACT

The article shows the impact of polysaccharide compositions on the physiological parameters and quality of cherry fruits during storage.

Stone fruits, in particular cherries, have a limited shelf life, so the search for new technologies for their long-term storage is urgent. Currently, much attention is paid to the use of new technologies for post-harvest processing of fruits using polysaccharide compositions, including carrageenan. At the same time, the film formed on the surface of the fruits inhibits the migration of moisture, prolongs the shelf life and quality of the product. According to the literature, polysaccharide coatings are used to prolong storage, including stone fruits: plums, cherries, which delay respiration and ripening of fruits.

The research was carried out with cherry fruits of the 'Alfa' and 'Pamyat Artemenko' varieties, which were sorted and washed. The test samples were stored according to the options: without treatment (control sample) and treated with a mixture of solutions of 0.6% glycerin and carrageenan solutions of 1% and 2% concentration. Cherry fruits were immersed in previously prepared carrageenan solutions, taken out, dried, placed in boxes and stored in a refrigerator at a temperature of 1.0 ± 0.5 °C and a relative humidity of $95.0 \pm 1.0\%$.

According to research results, during 15 days of storage, the respiration intensity of cherry fruits treated with 2% carrageenan solution with the addition of 0.6% glycerin decreases by 4–6 mg CO₂/kg·h compared to the control sample and by 1–2 mg CO₂/kg·h by the end of storage. At the same time, the smallest quality losses in the content of tannins and coloring substances are observed for processing with 2% carrageenan solution with the addition of 0.6% glycerin by 7.1–6.8%. Antioxidant activity, which determines the biological value of cherry fruits, decreased by 22.2–23.1%. The study of the effect of carrageenan solution on the quality of cherry fruits during storage is promising for further research.

ВПЛИВ ПОЛІСАХАРИДНИХ КОМПОЗИЦІЙ НА ІНТЕНСИВНІСТЬ ДИХАННЯ ТА ЯКІСТЬ ПЛОДІВ ВИШНІ ПРОТЯГОМ ЗБЕРІГАННЯ

О. В. Василюшина

Уманський національний університет садівництва

У статті показано вплив полісахаридних композицій на фізіологічні показники та якість плодів вишні протягом зберігання.

Плоди кісточкових, зокрема вишні, мають обмежений термін зберігання, тому актуальним є пошук нових технологій їхнього тривалого зберігання. Нині велика увага приділяється використанню нових технологій післязбиральної обробки плодів із застосуванням полісахаридних композицій, зокрема карагенану. При цьому плівка, що утворюється на поверхні плодів, гальмує міграцію вологи, подовжує термін зберігання і зберігає якість продукту. За даними літератури полісахаридні покриття, які затримують дихання та дозрівання плодів, використовують для подовження зберігання кісточкових (сливи, черешні).

Дослідження проводили з плодами вишні сортів Альфа і Пам'ять Артеменка, які сортували,мили. Дослідні зразки закладали на зберігання за варіантами: без обробки (контроль) та оброблені сумішшю розчинів 0,6% гліцерину і карагенану 1% та 2% концентрації. Плоди вишні занурювали в попередньо приготовлені розчини, виймали, обсушували, поміщали в ящики і зберігали в холодильнику за температури $1,0 \pm 0,5$ °C і відносної вологості повітря $95,0 \pm 1,0$ %.

За результатами досліджень протягом 15 діб зберігання інтенсивність дихання плодів вишні, оброблених 2% розчином карагенану з додаванням 0,6% гліцерину, знижується на 4—6 мг $\text{CO}_2/\text{кг}\cdot\text{год}$, якщо порівняти з контрольним варіантом, і в кінці зберігання — на 1—2 мг $\text{CO}_2/\text{кг}\cdot\text{год}$. При цьому спостерігаються найменші втрати якості у вмісті дубильних і барвних речовин за оброблення 2% розчином карагенану з додаванням 0,6% гліцерину на 7,1—6,8%. Антиоксидантна активність, яка визначає біологічну цінність плодів вишні, знизилась на 22,2—23,1%. Перспективним у проведенні подальших досліджень є вивчення впливу розчину карагенану на якість плодів вишні протягом зберігання.

Ключові слова: плоди вишні, зберігання, карагенан, дубильні і барвні речовини, антиоксидантна активність.

Постановка проблеми. Нині значна увага приділяється новим технологіям зберігання малолезких плодів кісточкових, зокрема вишні, та післязбиральної обробки плодів із застосуванням полісахаридних композицій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Полісахаридні плівки, такі як сік з алое вера, метилжасмонату, щавлевої кислоти використовують як покриття для винограду, сливи, черешні тощо, оскільки вони затримують дихання та дозрівання (Popovic, Pericin, Vastag, Popovic, & Lazic, 2011; Martínez-Esplá та ін., 2014; Martínez-Esplá та ін., 2014a; Serrano, 2017; Wang та ін., 2015; Popovic, Pericin, Vastag, Popovic, & Lazic, 2011).

Для підтримки якості плодів черешні та вишні протягом зберігання нині широко використовують такі їстівні покриття, як хітозан, гель алое вера, альгінат і Semperfresh™ тощо (Valverde та ін., 2005; Nayik, Majid & Kumar, 2015). Плівка на основі гідроколоїдів гальмує міграцію вологи по всій системі, покращує термін зберігання й органолептичні властивості продукту.

Поверхнєве покриття, що складається з похідних крохмалю, протеїну, целюлози рекомендовано для продовження строків зберігання плодів. Покриття затримують дозрівання і втрату вологи та зменшують розпад поживних речовин у плодах авокадо, персика, вишні, ківі (Maftoonazad & Badii, 2005).

Різні методи (обприскування, електророзпилення) застосовуються для нанесення покриття на харчовий матеріал для його захисту від впливу мікробів, продовження строків зберігання, покращення якості та зовнішнього вигляду. Для підвищення ефективності їстівних плівок і покриттів застосовують такі добавки, як гліцерин, сорбіт тощо (Hassan, Chath, Hussain, Zia, Akhtar, 2018).

Основною метою застосування композитних плівок є поліпшення проникності чи механічних властивостей. Додатки в плівки та покриття використовують як сполуки проти потемніння, вони є пробіотиками, ароматизаторами, мають антимікробну дію, підсилюють текстуру. Використовуються складні (складені, композитні) покриття, що містять одночасно ліпідні, гідроколоїдні (білки та полісахариди) та протимікробні компоненти. Допоміжними компонентами, що використовуються у складі їстівних покриттів, є пластифікатори. Вони є енерго-незалежними низькомолекулярними сполуками. Додані до полімерів, вони знижують їх крихкість, підвищують еластичність, міцність і полегшують обробку (Mani, Jain, Singh, & Sinha, 2017).

Комбінація похідних целюлози, камеді, мальтодекстрину та ліпідів виконує роль захисту для горіха. Склад розчину з хітозану, оцтової кислоти, гіберелінової кислоти, метилпарабену, полідиметилсилоксану і води розроблено для подовження терміну зберігання плодів. Покриття забезпечують фізичний захист для харчових продуктів під час транспортування (Hosseinifarahi, Mousavi, Radi, Jowkar, & Romanazzi, 2010; Maftoonazad & Badii, 2005; Hassan, Chath, Hussain, Zia, Akhtar, 2018; Kumar, Mukherjee, & Dutta, 2020; Василичина, 2019; Василичина, 2020; Василичина, 2020a).

Застосування полісахаридних покриттів сповільнює інтенсивність дихання плодів і сприяє збереженню їх якості та біологічної цінності.

Мета статті: встановлення впливу полісахаридних речовин на основі карагенану на інтенсивність дихання та якість плодів вишні протягом зберігання.

Матеріали і методи. Для експериментальних досліджень впродовж 2019—2020 років відбирали плоди вишні сортів Альфа і Пам'ять Артеменка одного кольору, які сортували, мили та висушували.

Дослідні зразки покривали розчином, до складу якого входив карагенан (1—2 г/100 мл розчину), гліцерин (0,6 г/100 мл розчину), за варіантами: без обробки (контроль) та оброблені розчинами гліцерину 0,6% і карагенану 1% та 2% концентрації.

Для розчинення карагенану суміш нагрівали при температурі 80 °C протягом 30 хв і охолоджували. В розчин занурювали плоди вишні, витримували 1—2 хв, виймали, давали стекти, обсушували. Дослідні та контрольні зразки плодів

зберігали за температури $1,0 \pm 0,5$ °C і відносної вологості повітря $95,0 \pm 1,0\%$.

Визначення інтенсивності дихання та вмісту дубильних і барвних речовин плодів проводили в трикратній повторюваності (Найченко, 2001). Антиоксидантну активність визначали за методом FRAP (Khasanov, 2004). Інтенсивність тепловиділення та продуктивність вентиляції за (Колтунов, 2002). Математичну обробку даних проводили за (Мойсейченко, 1992) на персональному комп'ютері за програмою «Excel 2000».

Викладення основних результатів дослідження. В табл. 1 і 2 наведено інтенсивність дихання, тепловиділення та продуктивність вентиляції плодів вишні сорту Пам'ять Артеменка й Альфа.

Таблиця 1. Інтенсивність дихання, тепловиділення та продуктивність вентиляції холодильника протягом зберігання плодів вишні сорту Пам'ять Артеменка

Тривалість зберігання, діб	Інтенсивність дихання, мг CO ₂ /кг·год	Інтенсивність тепловиділення, Кдж/т·добу	Питома теплоємність, Кдж/т·К	Підвищення температури, °C	Продуктивність вентиляції, м ³ /т·год
Без обробки (контроль)					
1	13	0,14	1,83	0,08	5,10
10	13	0,14	1,81	0,08	5,04
15	12	0,13	1,79	0,07	4,59
1% розчин карагенану та 0,6% гліцерину					
1	13	0,14	1,83	0,08	5,10
10	11	0,12	1,81	0,06	4,26
15	10	0,11	1,80	0,06	3,86
28	8	0,09	1,80	0,05	3,08
2% розчин карагенану та 0,6% гліцерину					
1	13	0,14	1,83	0,08	5,10
10	9	0,10	1,82	0,05	3,49
15	8	0,09	1,81	0,05	3,10
28	7	0,07	1,81	0,04	2,70

Таблиця 2. Інтенсивність дихання, тепловиділення та продуктивність вентиляції холодильника протягом зберігання плодів вишні сорту Альфа

Тривалість зберігання, діб	Інтенсивність дихання, мг CO ₂ /кг·год	Інтенсивність тепловиділення, Кдж/т·добу	Питома теплоємність, Кдж/т·К	Підвищення температури, °C	Продуктивність вентиляції, м ³ /т·год
1	2	3	4	5	6
Без обробки (контроль)					
1	15	0,16	1,83	0,09	5,88
10	15	0,16	1,82	0,09	5,82
15	14	0,16	1,80	0,09	5,76
1% розчин карагенану та 0,6% гліцерину					
1	15	0,16	1,83	0,09	5,88
10	13	0,14	1,82	0,08	5,06
15	11	0,12	1,81	0,06	4,26
28	9	0,10	1,81	0,05	3,48

Продовження таблиці 2

1	2	3	4	5	6
2% розчин карагенану та 0,6% гліцерину					
1	15	0,16	1,83	0,09	5,88
10	10	0,11	1,82	0,06	3,90
15	8	0,09	1,81	0,05	3,10
28	7	0,07	1,81	0,04	2,71

Встановлено, що інтенсивність дихання залежно від сорту в контрольному варіанті становить 12,0...13,0 і 14,0...15,0 мг $\text{CO}_2/\text{кг}\cdot\text{год}$ відповідно.

У плодах вишні, попередньо оброблених розчинами карагенану, інтенсивність дихання була нижчою на 2—6 мг $\text{CO}_2/\text{кг}\cdot\text{год}$. Відмічені закономірності інтенсивності дихання супроводжувалися зниженням питомої теплоємності плодів і підвищенням температури в сховищі на 0,07—0,09 °С (контроль) і 0,04—0,08 °С (1—2%) та продуктивності вентиляції 2,70—5,88 м³/т·год.

Вміст дубильних і барвних речовин плодів вишні протягом 15 діб зберігання зменшився у контрольному варіанті на 13,7—15,5% (рис. 1).

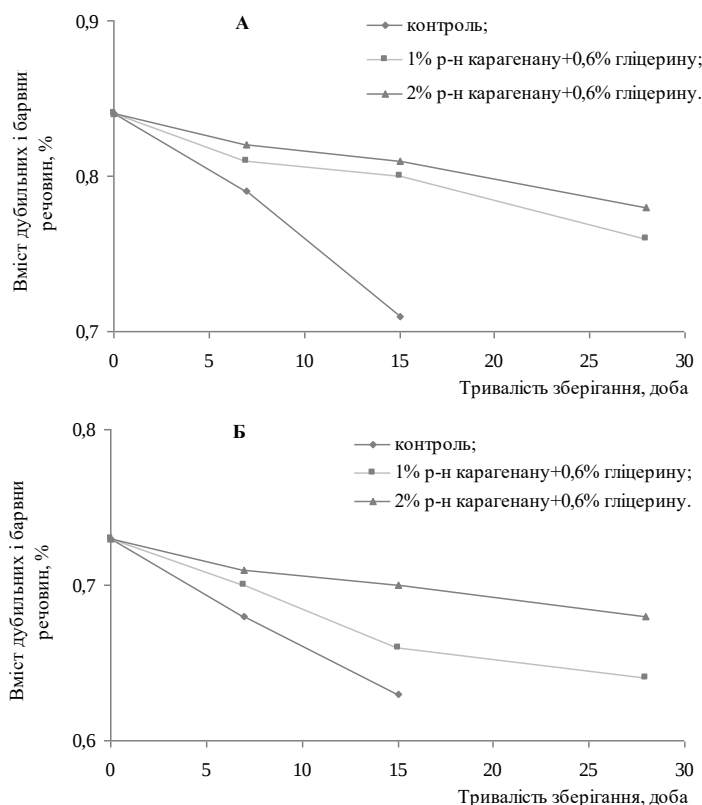


Рис. 1. Динаміка вмісту дубильних і барвних речовин у плодах вишні сортів Альфа (А) і Пам'ять Артеменка (Б), оброблених розчином карагенану перед зберіганням ($\text{HIP}_{05} = 0,02$)

При цьому на 28 добу зберігання, порівняно із початковим вмістом, оброблені плоди вишні 1 і 2% розчином карагенану з додаванням гліцерину 0,6%, мали менші втрати кількості дубильних і барвних речовин на 9,5—8,2% та 7,1—6,8%.

Антиоксидантна активність плодів вишні, що визначається, зокрема, наявністю аскорбінової кислоти та дубильних і барвних речовин, зменшилась на 40,7—42,3% (рис. 2).

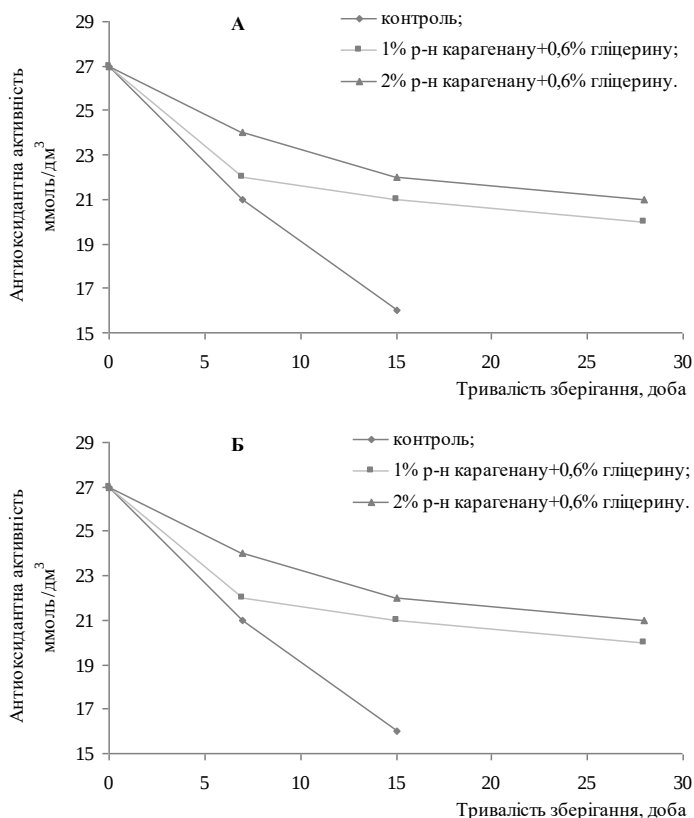


Рис. 2. Зміна антиоксидантної активності плодів вишні сортів Альфа (А) і Пам'ять Артеменка (Б), оброблених розчином карагенану перед зберіганням (НІР₀₅ = 1,0), 2019–2020 рр.

Обробка 1 і 2% розчином карагенану з додаванням гліцерину 0,6% дала змогу знизити антиоксидантну активність до 9,1—26,9% і 22,2—23,1% відповідно.

Висновки

Отже, інтенсивність дихання плодів вишні після 15 діб зберігання порівняно із контрольним варіантом за обробки 2 % розчином карагенану з додаванням гліцерину 0,6% знижується на 4—6 мг СО₂/кг·год та в кінці зберігання на 1—2 мг СО₂/кг·год. Вміст дубильних і барвних речовин за оброблення 2% розчином карагенану з додаванням гліцерину 0,6% знизився на 7,1—6,8%, а антиоксидант-

на активність, яка визначає біологічну цінність, на 22,2—23,1%.

Для вивчення впливу розчину карагенану на якість плодів вишні необхідно провести подальші дослідження.

Література

Василишина, О. В. (2019). Оптимізація зберігання плодів вишні з попередньою обробкою розчином хітозану. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*, 3, 80—87. [https://doi.org/10.31521/2313-092X/2019-3\(103\)-10](https://doi.org/10.31521/2313-092X/2019-3(103)-10)

Василишина, О. В. (2020). Екоінноваційні технології використання полісахаридних плівок і покриттів для збереження якості плодовоягідної продукції. *Екологічні інновації у підвищенні економічної та продовольчої безпеки України: колективна монографія / за ред. Т. О. Чайки, І. О. Яснолоб, О. О. Горба*. Полтава: Астрія, 2020.

Василишина, О. В. (2020a). Зміна якості плодів вишні за попередньої обробки полісахаридними композиціями протягом зберігання. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*, 3, 13—20. <https://doi.org/10.31210/visnyk2020.03.01>.

Колтунов, В. А. (2002). Технологія зберігання продовольчих товарів. Лабораторний практикум. Київ: Київський національний торговельно-економічний університет.

Найченко, В. М. (2001). Практикум з технології зберігання і переробки плодів та овочів з основами товарознавства: навчальний посібник. Київ: ФАДА ЛТД.

Hassan, B., Chatha, S. A. S., Hussain, A. I., Zia, K. M., Akhtar, N. (2018). Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 109, 1095—1107. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.097>.

Hosseinifarahi, M., Mousavi, S. M., Radi, M., Jowkar, M. M., Romanazzi, G. (2020). Postharvest application of hot water and putrescine treatments reduce brown rot and improve shelf life and quality of apricots. *Phytopathologia Mediterranea*, 59(2), 319—329. <https://doi.org/10.14601/Phyto-10751>.

Kumar, S., Mukherjee, A., Dutta, J. (2020). Chitosan based nanocomposite films and coatings: Emerging antimicrobial food packaging alternatives. *Trends in Food Science & Technology*, 97, 196—209. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.002>.

Maftoonazad, N., Badii, F. (2009). Use of edible films and coatings to extend the shelf life of food products. *Recent patents on food, nutrition & agriculture*, 1, 162—170. <https://doi.org/10.2174/2212798410901020162>.

Mani, A., Jain, N., Singh, A. K., Sinha, M. (2017). Effects of aloe vera edible coating on quality and postharvest physiology of ber (*Zizyphus mauritiana* Lamk.) under ambient storage conditions. *Annals of Horticulture*, 10(2), 138. <https://doi.org/10.18782/2320-7051.5688>.

Martínez-Esplá, A., Zapata, P. J., Castillo, S., Guillén, F., Martínez-Romero, D., Valero, D., Serrano, M. (2014). Preharvest application of methyl jasmonate (MeJA) in two plum cultivars. Improvement of fruit growth and quality attributes at harvest. *Postharvest Biology and Technology*, 98, 98—105. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.07.012>.

Martínez-Esplá, A., Zapata, P. J., Valero, D., Cristina García-Viguera, C., Castillo, S., Serrano, M. (2014a). Preharvest application of oxalic acid increased fruit size, bioactive compounds, and antioxidant capacity in sweet cherry cultivars (*Prunus avium* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(15), 3432—3437. <https://doi.org/10.1021/jf500224g>.

Nayik, G. A., Majid, I., Kumar, V. (2015). Developments in edible films and coatings for the extension of shelf life of fresh fruits. *American journal of nutrition and food science*, 2(1), 16—20. <https://doi.org/10.12966/ajnfs>.

Popovic, S., Pericin, D., Vastag, Z., Popovic, L., Lazic, V. (2011). Evaluation of edible film-forming ability of pumpkin oil cake: effect of pH and temperature. *Food Hydrocolloids*, 25(3), 470—476. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.07.022>.

Serrano, M., Castillo, S., Valero, D., Valverde, J. M., Guillén, F., Martínez-Romero, D. (2017). Effect of Aloe vera gel treatment on bioactive compounds and antioxidant activity during storage of sweet cherry. *Acta Horticulturae*, 1161, 607—612. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1161.97>.

Valverde, J. M., Valero, D., Martínez-Romero, D., Guillén, F., Castillo, S., Serrano, M. (2005).

Novel edible coating based on of Aloe vera gel to maintain table grape quality and safety. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 7807—7813. [https://doi.org/ 10.1021/jf050962v](https://doi.org/10.1021/jf050962v).

Wang, L., Jin, P., Wang, J., Jiang, L., Shan, T., Zheng, Y. (2015). Effect of β -aminobutyric acid on cell wall modification and senescence in sweet cherry during storage at 20 °C. *Food Chemistry*, 175, 471—477. [https://doi.org/ 10.1016/j.foodchem.2014.12.011](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.12.011).

PHYSICAL ASPECTS OF FORMATION OF OIL GELS

T. Romanovska, M. Oceiko

National University of Food Technologies

N. Romanovskyi

Taras Shevchenko National University of Kyiv

Key words:

*Oil gel
Sunflower wax
Wool fat
Gel formation
Loss of fluidity*

Article history:

Received 12.07.2022
Received in revised form
26.07.2022
Accepted 19.08.2022

Corresponding author:

T. Romanovska
E-mail:
rombiotann@ukr.net

ABSTRACT

The article is devoted to the application of sunflower wax and wool fat wax to receive sunflower oil gel. Industrially obtained sunflower refined deodorized winterized oil, and sunflower wax, removed in laboratory conditions from the filter sediment after the winterization of sunflower oil, and the wool fat, removed from the lime extracts from the wool were used for research the. The acid, iodine numbers and the number of the saponification by titrimetric method, the melting temperature in the open capillary is generally known by standardized methods for the characteristics of sunflower and wool fat wax as gel-forming agents. In literary sources it was found that the formation of the gel is influenced by the concentration of the gel diffuser, the chemical composition of the wax and dispersion medium, and the temperature of the process.

The application of 3 and 10%w/w wax to sunflower oil for the formation of gel was investigated. The gel formation temperature of the oil gel flow loss was determined. Sunflower wax forms oil gels in sunflower oil at a concentration of 3% w/w. At room temperature (20 °C), the oil gel with sunflower wax is solid. Wool fat (wax) for a concentration of 3% w/w can be represented as oil gels in low temperature fat products. As the wax content of the oil gel increases, the ash flow loss temperature and the formation of oil gel increases.

The discussion question is the contribution to the process of inter-molecular interactions between the molecules of the gel-forming agent to the formation of wax crystals and other related waxes of substances and the value of the inter-molecular interaction of gel-forming molecules with disperse phase molecules of oil gel. The obtained oil gels can be used in fatty products, in particular to increase the hardness of margarine and the viscosity of mayonnaise.

ФІЗИЧНІ АСПЕКТИ УТВОРЕННЯ ОЛІЙНИХ ГЕЛІВ**Т. І. Романовська, М. І. Осейко***Національний університет харчових технологій***Н. О. Романовський***Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

Статтю присвячено застосуванню соняшникового воску та вовняного жиру в отриманні олійного гелю на основі соняшникової олії. Для досліджень взято соняшкову рафіновану дезодоровану виморожену олію, отриману промисловим способом, а також соняшковий віск, вилучений у лабораторних умовах з фільтрувальних осадів після виморожування соняшкової олії, та вовняний жир, вилучений з ліпідних екстрактів з вовни. Визначено кислотне, йодне числа та число омилення титриметричним методом, температуру плавлення у відкритому капілярі — загальновідомими стандартизованими методами для характеристики воску соняшникового і вовняного жиру як гелеутворювачів. З літературних джерел встановлено, що на утворення гелю впливає концентрація гелеутворювача, хімічний склад воску та дисперсійного середовища, температура процесу.

Досліджено внесення 3 і 10% мас. воску у соняшкову олію на утворення гелю. Визначено температуру гелеутворення за втратою плинності олійного гелю. Соняшковий віск утворює олійні гелі у соняшковій олії за концентрації 3% мас., причому за кімнатної температури (20 °C) олійний гель із соняшковим воском є твердим. Вовняний жир (віск) за концентрації 3% мас. може застосовуватись у вигляді олійних гелів у жирових продуктах, що зберігаються за знижених температур. Встановлено, що зі збільшенням вмісту воску в олійному гелі збільшується температура втрати плинності золю й утворення олійного гелю. Дискусійним щодо гелеутворення донині є величина вкладу у процес міжмолекулярних взаємодій між молекулами гелеутворювача з утворенням кристалів воску й інших супутніх воску речовин і величина міжмолекулярної взаємодії молекул гелеутворювача з молекулами дисперсної фази олійного гелю. Отримані олійні гелі можуть бути використані у жировмісних продуктах, зокрема з метою підвищення твердості маргарину та в'язкості майонезу.

Ключові слова: олійний гель, віск соняшковий, вовняний жир, гелеутворення, втрата плинності.

Постановка проблеми. Олійний гель — це дисперсна система, утворена гелеутворювачем (дисперсною фазою), диспергованим в олії і таким, що просто-риво утворює каркас твердоподібної неоднорідної системи. Олійні гелі є органо-гелями, оскільки дисперсійним середовищем є вуглеводні. Гелеутворювачами для олійних гелів є воски, вільні жирні кислоти, лецитин, н-алкани та інші супутні речовини восків. Гелі є твердоподібними речовинами, які мають пружність (еластичність) і пластичність. Чим більша анізотропія (несиметричність) молекул дисперсної фази (гелеутворювача) і чим менша ліофільність їхньої поверхні до дисперсійного середовища, тим менший вміст дисперсної фази, необхідний

для гелеутворення та втрати плинності системи.

Віск є природним продуктом мінерального, рослинного чи тваринного походження. Віск — комплекс хімічних сполук, що є ефірами вищих карбонових (жирних) кислот і вищих (жирних) спиртів, а також супутні речовини ефірів, зокрема вільні жирні кислоти і жирні спирти, стероли тощо. Властивості воску визначають багатогранні можливості його застосування (Oseyko, 2006; Cui, Saleh, Yang, Wang, Wang, Zhu, & Xiao, 2022). Віск нерозчинний у воді, добре розчинний в органічних розчинниках, гарячому спирті. Речовини, що за хімічними властивостями близькі до восків, але у своєму складі не містять ефіри, називають воскоподібними аналогами або воскоподібними сполуками, наприклад, парафін. Воскоподібні речовини мають довголанцюговий вуглецевоводневий скелет і за фізико-хімічними властивостями (температурою плавлення, температурою кристалізації тощо) близькі до восків. Склад воску залежить від джерела та способів отримання (Romanovska, 2006).

Серед восків рослинного походження перспективними є соняшниковий, ріпаківий і соєвий віск, виділений з олії під час рафінування (Oseyko, Romanovska & Shevchyk, 2021). До тваринних восків належать бджолиний віск, віск вовняного жиру (очищений жир називають ланоліном), які мають достатню сировинну базу для їх отримання.

Воски знаходяться в оліях (до 3 г/кг), збільшуючи їхню в'язкість (Gunstone, 2002). Так, у соняшниковій нерафінованій олії їх вміст складає 0,6...1,4 г/кг (Chalapud, Baumler, & Carelli, 2016).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для створення олійних гелів використовують здебільшого соняшниковий, рисових висівок, карнаубський, канделільський, фруктовий, ягідний і бджолиний воски. Хімічний склад восків вказано у табл. 1.

*Таблиця 1. Хімічний склад і властивості восків, у % мас., за (Patel, Babaahmadi, Lesaffer, & Dewettinck, 2015; **Doan, To, De Vrieze, Lynen, Danthine, Brown, Dewettinck, & Patel, 2017; *** Стапай, Стахів, Ткачук, & Смолянінова, 2021)*

Віск	Вуглеводні	Воскові ефіри	Жирні кислоти	Жирні спирти	Кислотне число, мг КОН/г	Число омилення, мг КОН/г	Температура плавлення ДСК, °С	Температура плавлення**, °С
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Соняшниковий	0,17±0,16	96,23±0,19	3,29±0,16	0,32±0,38	2—8	78—79	65—78	71,7
Рисових висівок**	сліди	93,49±2,63	6,00±2,12	сліди				70,2
Карнаубський**	0,16±0,09	58,99±4,57	6,32±3,65	34,53±3,45	2—7	78—95	55—82	60,7
Карнаубський	0,41±0,30	62,05±3,03	6,80±0,76	30,74±2,48	12—22	43—65	55—70	56,8
Канделільський	72,92±2,23	15,76±0,35	9,45±1,14	2,20±1,02	17—22	70—80	45—63	49,9
Бджолиний	26,84±1,04	58,00±0,68	8,75±0,75	6,42±0,90	48—54	180—220	12—39	16,3

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ягідний	< 0,05	< 0,05	95,70±1,11*	4,24±1,10	5—25	210—240	30—54	
Фруктовий	0,83±0,16	0,24±0,01	36,43±7,19*	62,50±7,03	3—4	82—140	31—42	
Вовняний жир (віск)***	16	20	19	45				

Примітка: *етерифіковані із залишком гліцерину; ДСК — диференціальна скануюча калориметрія.

За температурою плавлення воски поділено на групи: високоплавкі (соняшниковий, карнаубський), середньоплавкі (канделільський, бджолиний) і низькоплавкі (фруктовий і ягідний) (Patel, Babaahmadi, Lesaffer, & Dewettinck, 2015).

Воски використовують для отримання олійних гелів введенням від 0,5 до 10% мас. як гелеутворювачів в олії. Соняшниковий віск 0,5—5,0% мас. вводили у високоолеїнову соняшкову олію з отриманням жирової системи для маргарину. Вміст воску впливав на адсорбційне поглинання олії продуктами: зі збільшенням вмісту воску знижувалася сорбційне поглинання олії продуктом. У межах варіювання вмісту воску в олії вплив воску на окислювальну стабільність олії була незначимою (Nekrasov, Tkachenko, Nekrasov, Gudz, Berezka, & Molchenko, 2021).

Соняшниковий віск у кількості 3,5% мас. вводили в рецептуру маргарину на основі високоолеїнової соняшникової олії. Електронним скануючим мікроскопуванням виявили, що віск в олійному гелі формує пластинки. Введення комерційного воску в олійний гель дало більші за площею пластинки, ніж віск, отриманий у лабораторних умовах екстрагуванням. Середній розмір пластинок комерційного воску в олійному гелі залежав від внесеної кількості воску в емульсію і був більший для меншого вмісту воску, зокрема для вмісту воску 2% мас. розмір пластинок становив $32,1 \pm 6,5$ мкм, для 3,5% мас. $20,2 \pm 3,5$ мкм, для 5% мас. $11,0 \pm 1,5$ мкм. Для екстракційного воску розмір пластинок воску був однаковим ($9,8 \pm 0,9$ мкм для 2% мас., $9,5 \pm 1,4$ мкм для 3,5% мас. і $9,4 \pm 1,3$ мкм для 5% мас.) для всіх досліджених концентрацій воску в жировій фазі. Величину пластинок пов'язали з чистотою воску і наявністю супутніх речовин (Sandoval, Carelli, Palla, & Baümler, 2020).

Використовують канделільський віск як компонент глазурувального покриття харчових продуктів, у жувальних гумках, а також у виробництві лосьйонів і бальзамів для губ. Введення 3% канделільського воску в сафлорову олію з високим вмістом триолеїну надає можливість отримати стійкі впродовж трьох місяців олійні гелі, придатні до застосування у виробництві харчових продуктів (Morales-Rueda, Dibildox-Alvarado, Charó-Alonso, Weiss, & Toro-Vazquez, 2009).

Для олійних гелів з вмістом 3% мас. канделільського воску в сафлоровій олії проведено визначення теплоти плавлення як функції від часу (0—180 хв), що отримані після досягнення попередньо встановленої температури утворення гелю 5 і 25 °C та швидкості охолодження 1 і 10 °C/хв. Автори виявили, що витримка системи після досягнення температури гелеутворення 25 °C незалежно від швидкості охолодження переводить систему в інший стан з підвищенням температури плавлення гелю. Автори дають пояснення щодо можливого обер-

тання молекул навколо осей ланцюга у молекулярних центрах кристалічної решітки та створення структурного безладу і наголошують на тому, що збільшення концентрації воску (гелеутворювача) виявляє структурованіший з часом гель з вищою теплою плавлення. Також автори зазначають, що зі зменшенням швидкості охолодження утворюються гелі з вищою теплою плавлення. Однак застосування переохолодження гелю до 5 °C незалежно від швидкості охолодження та подальше витримувannya впродовж 180 хв дає змогу отримувати гелі з незмінною (постійною) теплою плавлення. Більша швидкість охолодження до температури гелеутворення дає меншу теплоту плавлення гелю для 3% мас. вмісту канделільського воску в сафлоровій олії (Morales-Rueda, Dibildox-Alvarado, Charó-Alonso, & Toro-Vazquez, 2009). На нашу думку, виявлення збільшення на 0,9...1,4 Дж/г теплоти плавлення гелів, утворених за температури гелеутворення 25 °C, вказує на утворення міжмолекулярних зв'язків під час подальшого витримувannya гелів.

Порівняння гелів, утворених за температур застигання 5 і 25 °C внесенням 3% мас. канделільського воску в сафлорову олію з високим вмістом триолеїну, виявило що за 5 °C гель мав вищий вміст і менші розміри мікропластинок твердої фази. Автори зробили висновок, що на властивості гелю має вплив швидкість охолодження й тривалість витримки гелю під час гелеутворення. Колоїдна стійкість гелів виявилася стійкою під час зберігання їх за кімнатної температури впродовж трьох місяців незалежно від температури формування гелю. Зроблено висновок, що досліджені олійні гелі потенційно придатні до використання в харчових продуктах (Toro-Vazquez, Morales-Rueda, Dibildox-Alvarado, Charó-Alonso, Alonzo-Macias, & González-Chávez, 2007).

Використання кількох гелеутворювачів у заданих співвідношеннях виявило для деяких зразків відхилення від передбачуваних властивостей олійних гелів. Так, внесення в олію з виноградних кісточок 10% мас. суміші канделільського воску та гліцерилмоностеарату у співвідношенні 75 : 25 утворило гель з найнижчою температурою плавлення й твердішою структурою порівняно з гелями, утвореними тими ж гелеутворювачами і в тій же олії, але в інших співвідношеннях (Choi, Hwang, Jeong, Kim, & Lee, 2020).

Порівняння реологічних характеристик олійних гелів, утворених внесенням 10% мас. воску в соняшникову олію, наведено (Fayaz, Calligaris, & Nicoli, 2019). Гелеутворювачами вибрано стеаринову кислоту, моногліцерид, октадеканол, а також рисовий, соняшниковий, бджолиний воски. Встановлено, що зберігання олійних гелів протягом 30 діб за температури 20 °C не знижує олійної ємності та реологічних характеристик гелю.

Мета дослідження: визначити фізико-хімічні якісні показники соняшникового воску та вовняного жиру і порівняти їхні властивості у створенні олійних гелів.

Матеріали і методи. Соняшникова рафінована дезодорована виморожена олія, отримана промисловим способом. Соняшниковий віск, вилучений з фільтрувальних осадів після виморожування соняшникової олії. Вовняний жир, вилучений з ліпідних екстрактів з вовни. Використано загальновідомі стандартизовані методи визначення: кислотне, йодне числа та число омилення титриметричним

методом, температура плавлення — капілярним (Манк, Осейко, Бабенко, Носенко, & Пещера, 2018).

Викладення основних результатів дослідження. *Отримання воску соняшникового і жиру вовняного.* Відділений під час виморожування віск з перлітом нагрівали на лійці з тканим ситом у сушильний шафі до повного розтоплення воску. Розтоплений профільтований соняшниковий віск кристалізували за кімнатної температури й аналізували.

Підготовлену до екстрагування вовну обробляли н-гексаном. Отриману міцелу відстоювали і декантували. З декантату після вилучення відгонкою екстрагенту отримували вовняний жир, який використовували для досліджень.

Визначення фізико-хімічних показників воску соняшникового і жиру вовняного. У соняшковому воску і вовняному жирі визначали вміст вільних жирних кислот (кислотне число), вміст ефірних сполук, що піддаються гідролізу (число омилення), вміст ненасичених вуглецеводневих ланцюгів (йодне число) титриметричними методами і температуру плавлення воску з використанням відкритого капіляра.

Дослідження фізико-хімічних показників дослідних зразків соняшникового воску. Виділений дослідний віск з фільтрувальним порошком перлітом мав білий колір, був пластичний і не крихкий. Після плавлення і відділення від перліту мав однорідне матово-солом'яне забарвлення, був жирний на дотик та однорідний і пластичний за структурою. Фізико-хімічні показники дослідних зразків воску і жиру приведено у табл. 2.

Таблиця 2. Фізико-хімічні показники воску соняшникового і вовняного жиру

Показник	Дослідний соняшниковий віск	Соняшниковий віск, екстрагований гексаном за (Omelchenko, 2016)	Дослідний вовняний жир
Кислотне число, мг КОН/г	$12,2 \pm 0,6$	7	$17,5 \pm 0,8$
Число омилення, мг КОН/г	$111,5 \pm 1,5$	109	$85,8 \pm 4,6$
Йодне число, мг КОН/г	$10,8 \pm 0,4$	8	$19,3 \pm 0,9$
Температура плавлення, °C	$69,0 \pm 0,5$	81	$38,2 \pm 0,5$

Дані, наведені у табл. 1 і 2, підтвердили, що соняшниковий віск містить переважно воскові ефіри, насичені вуглецеводневі ланцюги з наявними ефірними зв'язками, що піддаються гідролізу під дією лугів чи кислот, прийнятним вмістом вільних жирних кислот. Температура плавлення дослідного воску виявилася нижчою за температуру плавлення екстрагованого гексаном воску. На нашу думку, виявлений факт можна пояснити тривалістю процесів вилучення воску з відпрацьованого фільтрувального порошку. Екстрагування проводять вичерпним способом в екстракторі Сокслета і тривалість екстрагування займає близько 24 год. Вилучення дослідного воску плавленням, фільтруванням і кристалізацією зайняло 6 год. Менша тривалість нагрівання та спосіб обробки осаду, з якого вилучили віск, можливо і спричинила меншу температуру плавлення дослідного зразка соняшникового воску. Вовняний жир містить переважно жирні спирти, а

також воскові ефіри та жирні кислоти, що визначає низьку температуру плавлення.

Власне, температуру плавлення соняшникового воску та вовняного жиру визначають галузі застосування цих продуктів (Silva, Barrera-Arellano & Ribeiro, 2021). Нині соняшниковий віск і вовняний жир застосовують у косметичних засобах та фармацевтичних препаратах. Введення в органічний неполярний розчинник, зокрема олію, гелеутворювача, що має полярні групи та довголанцюгову анізотропічну (несиметричну) будову молекули, призводить до утворення гелю, яке називають гелеутворенням.

Приготування олійного гелю. Соняшниковий віск і вовняний жир вносили у визначених кількостях в олію. Суспензію нагрівали на водяній бані до 90 °С, витримували до повного розчинення кристалів воску. Далі олійний розчин (золь) охолоджували до кімнатної температури, контролюючи температуру розчину. У момент втрати плинності золю утворюється гель.

Виходячи із широкого використання восків як глазуруючих агентів у харчовій промисловості у кількості 3% мас. до маси дисперсійного середовища, а також застосування воску до 10% мас. у фармацевтичних препаратах як структуроутворювача, для досліджень вибрали 3 і 10% мас. внесення соняшникового воску та вовняного жиру в соняшкову рафіновану дезодоровану виморожену олію. Температуру, починаючи з якої олійний гель втрачав плинність, фіксували ртутним термометром.

Таблиця 3. Залежність температури втрати плинності олійного гелю від вмісту гелеутворювача в гелі

Віск	Масова частка воску в олійному гелі, %	Температура втрати плинності зразка, °С
Соняшниковий віск	3	42
Соняшниковий віск	10	46
Вовняний жир (віск)	3	15
Вовняний жир (віск)	10	22

Дані втрати плинності зразка базувалися на візуальному визначенні втрати можливості текти після перевертання стакана з олійним гелем. Виходячи з хімічного складу восків, наведеного вище, можна віднести соняшниковий віск до воску, що містить високомолекулярні воскові ефіри, завдяки яким і формується каркасна структура гелю, яка дає змогу утворювати гель за температур 42...45 °С. Вовняний віск містить менше воскових ефірів, а більше жирних спиртів, зокрема ланоліновий спирт, тому температура утворення гелю становить 15...22 °С і подібна до температури для низькоплавких гелеутворювачів.

Наші дані кореспондуються з дослідженням, у якому порівнювали температуру початку кристалізації з мінімальним вмістом воску у високоолеїновій соняшниковій олії. Температуру переходу із золю в гель для мінімальної маси воску Сg, яку назвали критичною концентрацією гелеутворення олії, приведено у табл. 4.

Таблиця 4. Температура гелеутворення для восків в олійних гелях, отриманих за відповідних Cg, за (Patel, Babaahmadi, Lesaffer, & Dewettinck, 2015)

Віск	Cg (% мас.)	Tс початок кристалізації воску, °C	Tс пік кристалізації воску, °C	T переходу золь = гель олеогеля, °C
Соняшниковий	0,5	57,27 ± 0,05	55,97 ± 0,31	45,9 ± 2,1
Карнаубський	4	54,61 ± 0,05	52,83 ± 0,44	32,7 ± 1,3
Канделільський	0,75	38,72 ± 0,82 (I) 34,06 ± 0,12 (II)	37,76 ± 0,84 (I) 31,14 ± 0,42 (II)	13,1 ± 0,9
Бджолиний	1	42,69 ± 0,35	40,98 ± 0,75	19,0 ± 0,7
Ягідний	6	8,92 ± 0,41	6,27 ± 0,03	7,3 ± 0,2
Фруктовий	7	14,87 ± 0,11	10,55 ± 0,07	17,3 ± 1,0

Автори зазначають, що під час зберігання впродовж місяця за температури 5 °C досліджені гелі були колоїдностабільні.

На процес гелеутворення впливає не лише хімічний склад гелеутворювача і дисперсійного середовища, але й вміст гелеутворювача в олійному гелі та власне методи визначення моменту втрати гелем плинності. Безперечно, застосовані методи, що визначають властивості гелю, мають визначити момент початку втрати плинності золю та його перехід у гель і бути точними й відтворюваними. Дискусійним щодо гелеутворення донині є величина вкладу у процес міжмолекулярних взаємодій між молекулами гелеутворювача з утворенням кристалів воску і супутніх воску речовин та величина міжмолекулярної взаємодії молекул гелеутворювача з молекулами дисперсної фази олійного гелю.

Висновки

Соняшниковий віск утворює олійні гелі в соняшниковій олії за концентрації 3% мас., причому за кімнатної температури (20 °C) олійний гель із соняшниковим воском буде твердим.

Вовняний жир (віск) за концентрації 3% мас. може застосовуватись у вигляді олійних гелів у жирових продуктах, що зберігаються за знижених температур, зокрема маргарин.

Зі збільшенням вмісту воску в олійному гелі збільшується температура втрати плинності золю й утворення олійного гелю. Отримані олійні гелі можуть бути використані в жировмісних продуктах, зокрема з метою підвищення твердості маргарину та в'язкості майонезу.

Література

Манк, В. В., Осейко, М. І., Бабенко, В. І., Носенко, Т. Т., Пещера, Л. С. (2018). Технології ефірних олій і парфумерно-косметичних продуктів. Лабораторний практикум, Київ: Національний університет харчових технологій.

Омельченко, Ю. Е., Демидов, І. Н. (2014). Качественные показатели воскоподобных веществ. *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*, 42(1214), 193—198. DOI:10.20998/2413-4295.2016.42.31.

Осейко, М. І. (2006). *Технологія рослинних олій*. Київ: Варта.

Романовська, Т. І. (2006). *Фізико-хімічні аспекти харчових технологій*. Київ: Наукова думка.

Стапай, П. В., Стахів, Н. П., Ткачук, В. М., Смолянінова, О. О. (2021). Зв'язок структурних

ліпідів вовни овець з її окремими макроструктурними компонентами, хімічним складом та фізичними показниками. *Біологія тварин*, 2021, 23(1), 38—43. DOI: 10.15407/animbiol23.01.038.

Chalapud, M. C., Bäuml, E. R., Carelli, A. A. (2016). Characterization of waxes and residual oil recovered from sunflower oil winterization waste. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 118, 8 p. DOI: 10.1002/ejlt.201500608.

Choi, K. O., Hwang, H. S., Jeong, S., Kim, S., Lee, S. (2020). The thermal, rheological, and structural characterization of grapeseed oil oleogels structured with binary blends of oleogelator. *J Food Sci.*, 85(10), 3432—3441. DOI: 10.1111/1750-3841.15442.

Cui, X. T., Saleh, A. S. M., Yang, S., Wang, N., Wang, P., Zhu, M., Xiao, Z. (2022). Oleogels as Animal Fat and Shortening Replacers: Research Advances and Application Challenges. *Food Reviews International*, DOI: 10.1080/87559129.2022.2062769.

Doan, C. D., To, C. M., De Vrieze, M., Lynen, F., Danthine, S., Brown, A., Dewettinck, K., Patel, A.R. (2017). Chemical profiling of the major components in natural waxes to elucidate their role in liquid oil structuring. *Food Chemistry*, 214, 717—725. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.07.123.

Fayaz, G., Calligaris, S., Nicoli, M. C. (2019). Comparative Study on the Ability of Different Oleogelators to Structure Sunflower Oil. *Food Biophysics*, 15, 42—49. DOI: 10.1007/s11483-019-09597-9.

Gunstone, F. D. ed. (2002). *Vegetable oils in food technology. Composition, properties and uses*, Oxford: Blackwell Publishing.

Morales-Rueda, J. A., Dibildox-Alvarado, E., Charó-Alonso, M. A., Toro-Vazquez, J. F. (2009). Rheological properties of candelilla wax and dotriacontane organogels measured with a True-Gap System. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 86, 765—772. DOI: 10.1007/s11746-009-1414-3.

Morales-Rueda, J. A., Dibildox-Alvarado, E., Charó-Alonso, M. A., Weiss, R. G., Toro-Vazquez, J. F. (2009). Thermo-mechanical properties of candelilla wax and dotriacontane organogels in safflower oil. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 111(2), 207—215. DOI: 10.1002/ejlt.200810174.

Nekrasov, P. O., Tkachenko, N. A., Nekrasov, O. P., Gud, O. M., Berezka, T. O., Molchenko, S. M. Oxidization resistance and sorption properties of oleogels as new-generation fatty systems. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*, 2021, 4, 89—95. DOI: 10.32434/0321-4095-2021-137-4-89-95.

Oseyko, M., Romanovska, T., Shevchyk, V. (2021). Peculiarities of the lipid composition of sunflower wax. *Ukrainian Journal of Food Science*, 9(2), 236—245. DOI: 10.24263/2310-1008-2021-9-2-10.

Patel, A. R., Babaahmadi, M., Lesaffer, A., Dewettinck, K. (2015). Rheological profiling of organogels prepared at critical gelling concentrations of natural waxes in a triacylglycerol solvent. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(19), 4862—4869. DOI: 10.1021/acs.jafc.5b01548.

Sandoval, J. M., Carelli, A., Palla, C., Bäuml, E. (2020). Preparation and characterization of oleogel emulsions: A comparative study between the use of recovered and commercial sunflower waxes as structuring agent. *Journal of Food Science*, 85(9), 2866—2878, DOI: 10.1111/1750-3841.15361.

Silva, T. J., Barrera-Arellano, D., Ribeiro, A. P. B. (2021). Oleogel-based emulsions: Concepts, structuring agents, and applications in food. *Journal of Food Science*, 86(7), 2785—2801. DOI: 10.1111/1750-3841.15788.

Toro-Vazquez, J. F., Morales-Rueda, J. A., Dibildox-Alvarado, E., Charó-Alonso, M., Alonzo-Macias, M. González-Chávez, M. M. (2007). Thermal and textural properties of organogels developed by candelilla wax in safflower oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 84(11), 989—1000. DOI: 10.1007/s11746-007-1139-0.

ENERGY IDENTIFICATION OF THE STRUCTURES OF IONIC SYSTEMS IN ACCORDANCE WITH THE SPECIFIED TECHNICAL CONDITIONS

A. Smirnova, R. Kyrylenko

National University of Food Technologies

Key words:

*Electromotive force
Resonant frequency
Ionic system
Molecular structure
Energy identification*

Article history:

Received 13.07.2022
Received in revised form
28.07.2022
Accepted 16.08.2022

Corresponding author:

A. Smirnova
E-mail:
nuftrkg@ukr.net

ABSTRACT

A scientific discovery was made: energy identification of the structure of ionic systems (19 major scientific discoveries are known in Ukraine for 1990—2022).

The energetic identification of the structures of ion systems, which is an alternative to known chemical analyzes (chemical identification), is proposed and developed. The following theorem was proved and practical evidence was obtained: the structures of ionic systems are able to create their own energy characteristics, which are their electrotechnical standard, given technical conditions, and also identifiers of molecular formulas. The technologies of energy identification of the structure of ionic systems are proposed and investigated for the first time controlling of the structural characteristics of food products, medicines and substances for compliance with the given technical conditions. Technologies are based on developed methods of ionometry.

On the basis of the proposed technologies of energy identification, the structure of the ionic system as a constituent element of a sequential electrical circuit, as well as a component of an electromagnetic circuit, was considered for the first time. The ability of ionic systems of food products, drugs and substances to create their own energy characteristics (which identify them) as part of an electric circuit, for example, electromotive force, resonant frequency, etc., was revealed and investigated. Features of the influence of the structure of the ionic system on the mode characteristics of the electrical circuit are modeled. On the basis of research of technologies for identifying the composition of the structure of ionic systems of food products, drugs and controlled substances, it is possible to check quickly the compliance of food products with specified technical specifications with minimal economic costs. The theoretical foundations of energy identification of ionic systems during pumping of liquids through technological pipelines was developed. The proposed scientific direction is energy identification of the structures of ionic systems.

ЕНЕРГЕТИЧНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ СТРУКТУР ІОННИХ СИСТЕМ НА ВІДПОВІДНІСТЬ ЗАДАНИМ ТЕХНІЧНИМ УМОВАМ

А. В. Смірнова, Р. Г. Кириленко

Національний університет харчових технологій

Зроблено наукове відкриття: енергетична ідентифікація структури іонних систем (в Україні за 1990—2022 рік відомо 19 основних наукових відкриттів).

Запропоновано та розроблено енергетичну ідентифікацію структур іонних систем, яка є альтернативою відомим хімічним аналізам (хімічної ідентифікації). Доведено теорему та одержано практичні докази: структури іонних систем здатні створювати власні енергетичні характеристики, які є їхнім електротехнічним стандартом, заданими технічними умовами, а також ідентифікаторами молекулярних формул. У статті вперше запропоновано та досліджено технології енергетичної ідентифікації структури іонних систем на прикладі контролю структурних характеристик харчових продуктів, ліків та речовин на відповідність заданим технічним умовам. Технології базуються на розроблених способах іонометрії.

На основі запропонованих технологій енергетичної ідентифікації вперше розглянуто структуру іонної системи як складовий елемент послідовної електричної схеми, а також у складі електромагнітного кола. Виявлено та досліджено здатність іонних систем харчових продуктів, ліків та речовин створювати в складі електричного кола власні енергетичні характеристики (які їх ідентифікують), наприклад, електрорушійну силу, резонансну частоту, тощо. Змодельовано особливості впливу структури іонної системи на режимні характеристики електричної схеми. На основі досліджень технологій ідентифікації складу структури іонних систем харчових продуктів, ліків і речовин, що контролюються, одержана можливість вперше оперативно перевіряти відповідність продуктів харчування заданим ТУ з мінімальними економічними витратами. Розроблено теоретичні основи енергетичної ідентифікації іонних систем при прокачуванні рідин через технологічні трубопроводи. Запропоновано науковий напрямок — енергетична ідентифікація структур іонних систем.

Ключові слова: *електрорушійна сила, резонансна частота, іонна система, молекулярна структура, енергетична ідентифікація.*

Постановка проблеми. Проблема збереження та зміцнення здоров'я населення України продовжує залишатись однією з найбільш важливих та актуальних. В Україні існує великий асортимент вітчизняних і зарубіжних продуктів. Забруднення довкілля промисловими викидами, автомобільним транспортом, безконтрольне внесення до ґрунту засобів захисту рослин, мінеральних добрив створило умови, при яких сільгосппродукти, вирощені в багатьох районах України, насичені токсичними речовинами. Гарантування споживачам відповідності продукту заданим технічним умовам здійснюють за допомогою хімічних аналізів

(хімічної ідентифікації), які потребують спеціального приміщення, кваліфікованого персоналу, хімічних реактивів тощо.

Для енергетичної ідентифікації використовується звичайний простий електровимірювач. Процедура енергетичної ідентифікації є простою і доступною полягає в підключення вимірювального приладу до об'єкта контролю та передбачає запис його показів. Процедуру енергетичної ідентифікації без труднощів також може здійснювати медичний персонал хімічних лабораторій.

Зважаючи на викладене вище, постає завдання розробки технології енергетичної ідентифікації, способи реалізації якої прості в обслуговуванні, не потребують спеціального приміщення та додаткового персоналу.

Мета дослідження: для оперативного контролю безпеки продуктів харчування, ліків і речовин на відповідність заданим технічним умовам безпосередньо там де вони транспортуються, зберігаються та продаються, рідин при прокачуванні їх в технологічних трубопроводах, а також для зручності виконання дослідів у космосі довести теорему, що між молекулярною формулою структури іонної системи та її енергетичною характеристикою існує функціональний зв'язок; розробити процедури створення енергетичної ідентифікації, які здатні здійснювати хімічні аналізи структур іонних систем електричними вимірюваннями, їх теоретичне та методичне забезпечення; запропонувати способи енергетичної ідентифікації структур великих об'ємів іонних систем на відповідність заданим технічним умовам, наприклад, при прокачуванні їх у технологічних трубопроводах.

Матеріали і методи. Створювали вимірювальні комірки (ВК) з електродами. Заповнювали їх дослідною іонною системою (ІС). Для досліджень використали методи теорії чорної скриньки Норберта Вінера. Розглянули ВК як об'єкт дослідження: чорна скринька — перетворювач. Його вхід — задана характеристика структури ІС, вихід — енергетична характеристика чорної скриньки в складі магнітного або електричного кола. Для здійснення процедури ідентифікації в обраних зразках ІС здійснювали трансформацію молекулярної структури ІС в її енергетичні характеристики та визначали можливість створення функціонального зв'язку в системі вхід-вихід перетворювачів. Для розробки та дослідження технології енергетичної ідентифікації структур ІС здійснено фізико-хімічний аналіз структур ІС (Ашуева, Кирнос, Суржик, & Смирнов, 2000; Ашуева, Кирнос, Суржик, & Смирнов, 1999; Ромоданова та ін., 1998; Ромоданова, Смирнов, Мазуренко, & Кочубей, 1997; Ромоданова, Смирнов, Кочубей, & Мазуренко, 1999; Смирнова, Шулика, Мельник, Крапивницька, & Смирнов, 2004).

За теорією Фарадея-Максвелла досліджували електродинамічну модель взаємодії структури ІС з електромагнітним полем та запропонували класифікувати структури ІС як однофакторні та багатфакторні. Запропоновано та досліджено методи моделювання експериментів, технології електричних вимірювань і методи оцінки енергетичних характеристик структури ІС (Смирнов, 1998; Смирнов, 2005; Смирнов, Кропивницька, Шулика, & Мельник, 2000; Смирнова, Мазуренко, Мазуренко, & Смирнов, 2009).

Викладення основних результатів дослідження. Досліджували енергетичні характеристики атомів молекулярних структур ІС. Враховували, що атоми

молекулярних структур мають власні особливості, наприклад: m — маса іона, v — його рухливість, r — радіус, ϕ — електродний потенціал, k — концентрація ІС. Оцінювали особливості математичної моделі $E(m, v, r, \phi, k)$ за схемою, наведеною на рис. 1.

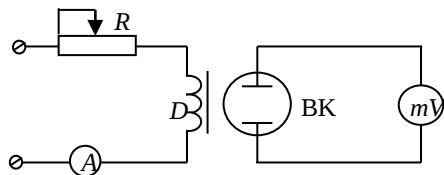


Рис. 1. Електрична схема вимірювання енергетичних характеристик дослідних продуктів

Завдання дослідження: за результатами вимірювань напруг, струмів, розрахункових значень потужності та опору в електричній схемі, а також з урахуванням відомих складових однорідної ІС — m, v, r, k, ϕ зробити спробу встановити функціональний зв'язок між вимірювальними електричними параметрами та фізико-хімічними показниками ІС. Досліджували математичну модель:

$$\sum_{j=1}^8 a_{j1} + a_{j2} m_j + a_{j3} v_j + a_{j4} r_j + a_{j5} \phi_j = E_j, \quad (1)$$

де a_{ij} — невідомі коефіцієнти; E — електрорушійна сила (значення E відповідає струму 5 А в електричному колі на рис. 1).

Оцінку впливу характеристик атомів (вхідних параметрів) на вихідні (створення ЕРС) визначали за розробленою програмою на ПК. Вирішували завдання — максимально ототожнити об'єкт дослідження з обраною математичною моделлю. За результатами математичного моделювання результатів експериментів (1) одержано рівняння з коефіцієнтом кореляції 0,987, точністю 6,0%:

$$E(v, r, \phi, m) = -0,00161 + 0,9426 v + 0,191 r - 0,2899 \phi - 0,5 m. \quad (2)$$

З рівняння (2) можна зробити висновок, що основний вплив на створення ЕРС здійснюють рухливість (найбільший) та розміри іона. Одержані результати узгоджуються із законом електромагнітної індукції.

На прикладі результатів досліджень та експериментальної оцінки здатності створювати власні енергетичні характеристики електролітами цинку, свинцю, кадмію, заліза, магнію, алюмінію, а також композиції кадмію із свинцем, залізом, цинком, натрієм (масові частки компонентів однакові) підтверджено, що атоми здатні створювати власні (ідентифікаційні) енергетичні характеристики. Результати енергетичного тестування іонів (ЕТИ) представлені в табл. 1 та 2.

Таблиця 1. Вплив іонів на спад напруги на резонансній частоті

Характеристики ЕТИ	Вид іона					
	Zn	Pl	Mg	Al	Cd	Fe
U_0 , мВ	80	19	8	24	13	70
F_0 , кГц	6,5	8,0	8,0	7,0	7,5	7,0

Таблиця 2. Вплив композиції іонів на спад напруги у ВК на резонансній частоті

Характеристики ЕТІ	Вид іона			
	Cd—Zn	Cd—Pl	Cd—Na	Cd—Fe
U_0 , мВ	4,2	4,0	3,5	3
F_0 , кГц	14,8	15,0	14,5	16

За величиною напруги розглянуті електроліти доцільно поділити на підгрупи. Кожна підгрупа характеризується відносно близькими електропровідностями, але за частотою, яка функціонально пов'язана з діелектричною проникністю, вони складають одну групу. В композиційних системах кадмій створює одну групу електролітів як за напругою, так і за частотою.

Грунтуючись на одержаних результатах, сформулювали теорему: трансформація молекулярного складу іонної системи здатна створювати власні енергетичні характеристики. Існує адекватна зворотна трансформація: власна енергетична характеристика має функціональний зв'язок з джерелом її створення і є її ідентифікатором; для множини заданих однотипних структур існує їх загальна енергетична характеристика, наприклад, у вигляді графіка, формули або відповідного стандарту, який доцільно розглядати як варіант заданих технічних умов.

Для доведення теореми вирішували завдання: створити молекулярні трансформатори-перетворювачі характеристик структури іонної системи (ІС) в її енергетичні характеристики; дослідити та визначити можливості одержання їх функціонального зв'язку в системі вхід-вихід запропонованого перетворювача.

Створювали вимірювальні комірки (ВК) з електродами. Заповнювали їх дослідною ІС. Розглянули ВК як перетворювач. Його вхід — задана характеристика структури ІС, вихід — її енергетична характеристика. Для вивчення процедури ідентифікації в обраних зразках ІС здійснювали трансформацію молекулярної структури ІС в її енергетичні характеристики та визначали можливості створювати функціональний зв'язок у системі вхід-вихід перетворювачів. Для розроблення та дослідження технології енергетичної ідентифікації здійснено аналіз структури ІС харчових продуктів, ліків і речовин. Запропоновано їх класифікувати як однофакторні та багатфакторні.

Досліджували вплив електромагнітного поля на створення функціонального зв'язку в системі вхід-вихід перетворювача. Для цього заповнювали ВК заданою ІС та розміщували її в змінному електромагнітному полі. Аналізували енергетичні характеристики ВК у змінному магнітному полі.

Моделювали взаємодію структури ІС (або регламентованих середовищ з заданим складом) зі змінним магнітним полем, визначали їх індивідуальні особливості, які можуть бути використані для розробки методів енергетичної ідентифікації, а також для створення електротехнічних стандартів структур іонних систем. Для моделювання електричного стану ІС використали закон електромагнітної індукції, який покладений в основу функціонування електричних машин: при відносному переміщенні магнітного поля і провідника в ньому на кінцях провідника створюється електрорушійна сила (ЕРС). Для генератора електричного струму його записують у такому вигляді:

$$E = c \times \Phi \times n, \quad (3)$$

де c — коефіцієнт, який залежить від його геометричних характеристик; Φ — магнітний потік полюсів; n — частота обертання ротора.

У дослідженнях використали ВК з дослідною ІС, яку поміщали в електромагнітне поле. В цьому випадку за законами електротехніки ВК перетворюється в іонний генератор. Аналогічно електричним машинам на його електродах індуктується ЕРС, яку розглянули у такому вигляді:

$$E = m \times v \times r \times \Phi \times \varphi \times k, \quad (4)$$

де m — маса іона, v — його рухливість; r — радіус; φ — електричний потенціал; k — концентрація ІС.

Досліджували електричний стан ІС за допомогою характеристики холостого ходу $E(I)$.

Завдання дослідження: за результатами вимірювань напруг, струмів, а також за відомою структурою ІС зробити спробу встановити функціональний зв'язок між вимірювальними електричними параметрами та фізико-хімічними показниками ІС.

Особливості електрофізичних характеристик ВК з рідиною. Структуру ІС розглянули як статистичну, електрофізичні показники якої нестійкі, оскільки молекули рідини у ВК здатні змінювати своє розташування, не виходячи при цьому із сфери впливу молекулярних сил сусідніх молекул. У рідині має місце близький порядок, але відсутній дальній. Це означає, що в молекулярних упаковках є пустоти. Тому області з фіксованою структурою є тимчасовими утвореннями, виникнувши в одному місці, вони розпадаються і знову створюються в іншому. Молекула, яка має відповідний енергетичний потенціал, може переходити в пустоту і займати нове положення. При цьому вона залишає пустоту після себе, в яку може перейти інша молекула. Аналогічний процес відбувається із молекулами речовини, розчиненої в рідині. Стабілізацію електрофізичних характеристик та одержання матричної структури ІС у ВК здійснювали примусовою поляризацією її магнітним полем.

Особливості взаємодії магнітного поля з ІС. З теорії Фарадея-Максвелла відомо, що при накладанні магнітного поля на ВК виникає дипольний електричний момент, у кожній частині ІС з'являються некомпенсовані заряди, які розподіляються по поверхні та всьому об'єму рідини.

Особливості взаємодії структури ІС з електромагнітним полем на основі рівнянь Максвелла:

$$\operatorname{rot} H = j + \frac{\partial D}{\partial t}; \quad (5)$$

$$\operatorname{rot} E_0 = -\frac{\partial B}{\partial t}; \quad (6)$$

$$\operatorname{div} B = 0; \quad (7)$$

$$\operatorname{div} D = \rho_e, \quad (8)$$

де H — напруженість магнітного поля; J — густина струму; D — електричне зміщення; E_0 — напруга електричного поля; B — магнітна індукція, ρ_e — об'ємна густина електричних зарядів.

Рівняння (5) описує зв'язок електричного струму з магнітним полем, яке створюється цим струмом; (6) — характеризує залежність між магнітним полем та створеним ним електричним полем; (7) — характеризує структуру магнітного та електричного поля.

З рівнянь випливає, що лінії магнітної індукції не мають початку та кінця, а силові лінії електричного поля починаються і закінчуються на заряджених частках. Вихідні параметри структури визначають інтегруванням у просторі локальних значень відповідних електричних величин. При такому підході потрібно знати розподіл електричних і магнітних полів у каналі ВК, які мають об'ємний характер. Аналіз роботи спеціалізованих джерел живлення показує, що в електrolітичному каналі з рідиною повне електричне поле складається із стороннього, яке визначається прикладеною до ВК напруги, формою її електродів і з додаткового, наведеного за рахунок відносного руху іонів, магнітного поля. Для математичного моделювання електромагнітних процесів прийняли, що електродинамічні процеси у ВК у діапазоні вимірювальних електричних параметрів є стаціонарними і мають лінійні характеристики.

Під дією напруги змінного магнітного поля молекулярна структура індуктує на електродах ВК (заданий параметр енергетичної характеристики) напругу електрорушійної сили (ЕРС), яку вимірювали мілівольтметром. Досліджували характеристики ВК як генератора-перетворювача структурних характеристик ІС в напругу, яка індуктується на його електродах.

Для прикладу розглянули схему (рис. 1), на якій зображено послідовне з'єднання реостата (R), дроселя (D) та амперметра (A). До електродів ВК підключають мілівольтметр. За допомогою реостата в електричному колі регулюють струм, контролюють покази мілівольтметра та визначають здатність ВК створювати власні енергетичні характеристики, які забезпечують функціональний зв'язок з її структурою.

Для прикладу розглянули енергетичну ідентифікацію молекулярної формули «невідомого» спирту (етилового — C_2H_5OH). Для оцінки особливостей обраної технології ідентифікації аналізували молекулярні формули спиртів та визначили їх як однокритеріальні. Для одержання функціонального зв'язку структури ІС з її енергетичною характеристикою у вигляді графіка розробили систему зразкових спиртів: метиловий — CH_3OH , етиловий — C_2H_5OH , пропіловий — C_3H_7OH , бутиловий — C_4H_9OH .

Для виконання дослідів використали ВК об'ємом 23 см^3 . З урахуванням потужності електричної схеми задали струм в електричному колі два амperi. Для кожного зразка спирту вимірювали напругу ЕРС та будували ідентифікаційний графік загальної функції зв'язку молекулярних формул з ЕРС (рис. 2). Потім для одержаного графіка вимірювали напругу ЕРС дослідного спирту. Одержали 8 мВ. Результати експериментального дослідження показують, що одержаний графік (рис. 2) підтверджує наявність функціонального зв'язку ЕРС (CH).

Результати досліджень довели, що сформульована теорема для розглянутого випадку доведена. Запропонований спосіб ідентифікації успішно пройшов лабораторне випробування — хімічний аналіз (хімічна ідентифікація) молекулярних

формул спиртів здійснено запропонованими способом енергетичної ідентифікації та за схемою електричних вимірювань.

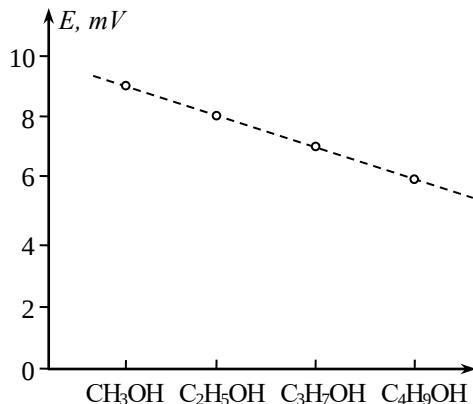


Рис. 2. Графік зв'язку елементів молекулярної структури (хімічної формули) спиртів з напругами ЕРС на затискачах ВК

З огляду на викладене вище можна прийняти аксіому: синтезований графік (рис. 2) є їх ідентифікатором. Його можна розглядати як електротехнічний стандарт хімічних формул спиртів, а також як варіант заданих технічних умов. Доведена можливість здійснювати електричні вимірювання молекулярних структур іонних систем (№ 110360, № 124751 та № 124752 Спосіб аналізу елементного складу речовин).

Досліджували характеристики перетворювача як складового елемента електричного кола (рис. 3) та визначали можливість отримання функціонального зв'язку між структурою ІС та її енергетичною характеристикою. Схема містить генератор (Г) синусоїдальної напруги з частотою, що регулюється (джерело живлення), підключений до послідовного кола з обмежуючим резистором (R), котушкою індуктивності (L) та ВК з дослідним продуктом. Для визначення ідентифікаційного параметра енергетичної характеристики, як елемента електричного кола, розглянули ВК як конденсатор-перетворювач. Його вхід — структура ІС, вихід — енергетичний параметр електричного кола, який потрібно визначити. Повний опір спрощеної електричної схеми:

$$\underline{Z}(w) = (R + r_k + r_{BK}) + j(wL - 1/wC), \quad w = 2\pi f, \quad (9)$$

де $R = 2,7$ кОм — обмежуючий опір; $r_k = 332$ Ом; $L = 0,32$ Гн — відповідно, активний опір котушки та її індуктивність, r_{BK} ; C — відповідно, активний опір та ємність ВК невідомі; f — частота електричного сигналу (Гц).

У процесі досліджень (для створення в електричній схемі резонансного режиму) змінювали частоту напруги генератора у межах 20—10000 Гц. Досліджували зв'язок ємнісного опору ВК з напругою, яку вимірювали на активному опорі $U_R(f)$ та визначали створення в електричній схемі резонансної частоти. Для показників резонансної частоти f_0 невідомий ємнісний опір ВК ідентифікується як $x_c = x_L$. Досліджували наявність функціонального зв'язку f_0 з ємнісною характеристикою конденсатора.

Для прикладу розглянули енергетичну ідентифікацію ліків з вмістом ментолу на відповідність його концентрації — 45 мг. Для одержання функціонального зв'язку концентрації ментолу з резонансною частотою використали зразки ліків з його концентраціями 15, 30, 45, 60 мг.

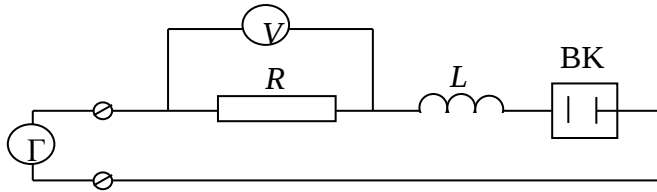


Рис. 3. Електрична схема для контролю іонометричних характеристик дослідних продуктів

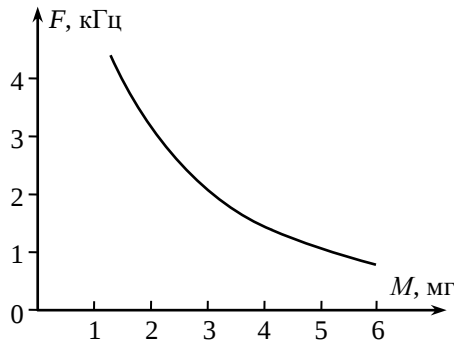


Рис. 4. Графік зв'язку масових часток ментолу з резонансною частотою в електричному колі

Для кожного зразка та дослідного продукту в електричній схемі визначали резонансну частоту та будували ідентифікаційний графік їх функціонального зв'язку (рис. 4), який підтверджує в ліках задану концентрацію ментолу та одержання функціонального зв'язку в системі перетворювача технічних умов.

Успішні результати досліджень показали, що сформульована теорема для розглянутого прикладу доведена. Розроблена запропонованим способом і за схемою електричних вимірювань (№ 110875 та № 124735 Спосіб діелькометричного аналізу елементного складу речовин) процедура ідентифікації ментолу в дослідних ліках на відповідність заданим технічним умовам підтвердила свою ефективність.

Досліджували енергетичні характеристики різноманітних харчових продуктів і напоїв. Для прикладу надані результати енергетичного тестування виробничих марок олій і коньяків.

Результати енергетичного тестування олій (ЕТО) виробничих і торговельних марок представлені в табл. 3.

Таблиця 3. Енергетичні характеристики олій

Характеристики ЕТО	Номер зразків олій				
	«Чумак»	«Від фермера» (для порівняння)	«Славолія»	«Щедрий дар»	«Олейна»
U_0 , мВ	93	88	105	97	95
F_0 , кГц	5,05	5,00	5,30	5,15	5,07

Оскільки якісні характеристики олій від фермера найгірші, то можна зробити припущення, що більш високі значення напруги та частоти можуть свідчити про кращу якість. У групі з п'яти зразків, з нашого погляду, одержані показники за частотою характеризують вид продукту, а за напругою — його марку або технологію.

Досліджували енергетичні характеристики коньячних виробів: п'ять зірочок — 1, чотири: — 2, три — 3, а також два фальсифікованих зразки — 4 і 5. Для кожного їх виду задаються вимоги до органолептичних та фізико-хімічних показників, серед яких: міцність, концентрації цукру, метилового спирту, міді та заліза. Окремі результати енергетичного тестування коньяків представлені в табл. 4.

Таблиця 4. Енергетичні характеристики коньяків

Характеристики ЕТК	Марка коньяку				
	1	2	3	4	5
U_0 , мВ	480	310	245	740	520
F_0 , кГц	2	2	2	2	2

Оскільки показники напруг дослідних зразків суттєво відрізняються, то можна стверджувати, що вони є однією з ознак їх відповідності заданим технічним умовам. Успішні результати досліджень підтвердили, що сформульована теорема для розглянутого прикладу доведена.

Досліджували енергетичну ідентифікацію різноманітних продуктів з багатомасовим елементним складом структур ІС (або суміші). Для ідентифікації багатомасових структур запропоновано спосіб одержання функціонального зв'язку масових часток (m) структури ІС з параметрами f_0 . Для встановлення функціонального зв'язку $m_i(f)$, $i = 1 \dots n$ використали рівняння:

$$m_1 + m_2 \dots + m_n = 1. \quad (10)$$

Для кількісної оцінки елементного складу додатково використовували рівняння:

$$m_1 f_1 + m_2 f_2 \dots + m_n f_n = f_{1n}, \quad (11)$$

де n — кількість елементів; f_i , $i = 1 \dots n$ — ідентифікаційні частоти, які створює ВК, заповнена окремо як кожним елементом m_i , так і дослідним продуктом з частотою f_{1n} .

Для одержання додаткового рівняння створювали окремо розчини кожного елемента дослідного продукту та визначали f_0 . Якщо $n = 2$, то рівняння (10), (11) мають вигляд:

$$m_1 + m_2 = 1, \quad (12)$$

$$m_1 f_{01} + m_2 f_{02} = f_{012}, \quad (13)$$

$$m_1 = (f_{012} - f_{02}) / (f_{01} - f_{02}), m_2 = 1 - m_1. \quad (14)$$

Кількісну оцінку масових часток продукту для $n \geq 3$ визначали за розробленими алгоритмом і комп'ютерною програмою. Для апробації запропонованої технології ідентифікації використали моделі речовин (МР). МР₁ представляє суміш CaCl та NaCl. Задані технічні умови їх концентрації у ВК, відповідно 5 та 1 мг/г (відповідно масові частки: $m_1 = 0,8$; $m_2 = 0,2$). МР₂ — це суміш MgCl та NaCl, задані технічні умови їх концентрації у ВК — по 3 мг/г ($m_1 = 0,5$; $m_2 = 0,5$).

Заповнювали ВК як дослідною речовиною, так і окремо кожною її складовою. Вимірювали частотні характеристики як речовин, так і окремих її складових. Одержано: для суміші CaCl та NaCl та їх складових, відповідно, $f_{01} = 90$ Гц, $f_{02} = 80$ Гц, $f_{012} = 88$ Гц; для MgCl та NaCl та їх складових, відповідно, $f_{01} = 100$ Гц, $f_{02} = 80$ Гц, $f_{012} = 90$ Гц. Результати вимірювань підставляють у формулу (6). Одержано: для CaCl та NaCl, відповідно, $m_1 = 0,8$; $m_2 = 0,2$; для MgCl та NaCl, відповідно, $m_1 = 0,5$; $m_2 = 0,5$. Апробація запропонованої технології ідентифікації речовин МР₁ та МР₂ на відповідність заданим технічним умовам здійснена успішно. Результати досліджень підтвердили, що сформульована теорема доведена.

Розроблено енергетичну технологію оперативного контролю безпеки великих об'ємів ІС на відповідність заданим технічним умовам, наприклад, при прокачуванні їх через технологічні трубопроводи. Під час прокачування ІС через вмонтовану до трубопроводу конструкцію перетворювача на її електродах вольтметром безперервно вимірюється заданий електричний параметр, який осцилографується самописцем. Енергетичну дешифровку одержаних осцилограм та оцінку їх відповідності заданим технічним умовам здійснюють звичайними способами на основі попередньо одержаних їхніх електротехнічних стандартів. За результатами моделювання визначено умови створення необхідного обладнання для виробничої реалізації безперервної процедури оперативного контролю великих об'ємів іонних систем.

Висновки

Зроблено наукове відкриття: за результатами досліджень доведено теорему, що енергетична трансформація іонних систем трансформує молекулярні характеристики її структури в заданий енергетичний параметр, який має зворотний функціональний зв'язок з її молекулярною структурою, технічними умовами. Запропоновано науковий напрямок — енергетична ідентифікація структур іонних систем. Розроблено теоретичні основи енергетичної ідентифікації структур іонних систем харчових продуктів, ліків і речовин на відповідність заданим технічним умовам. Запропоновано методи моделювання експериментів, технології електричних вимірювань. Створено молекулярні трансформатори й технології перетворення характеристик структури іонної системи в її енергетичні характеристики. Досліджено енергетичну ідентифікацію молекулярної структури іонної системи в електричних колах: з використанням молекулярних трансформаторів її складу в напругу електрорушійної сили, а також у складі послідовного елек-

тричного кола конденсатора-перетворювача в його реактивний опір. Розроблені способи та електричні схеми ідентифікації структур іонних систем успішно пройшли апробацію.

У дослідженнях брав участь професор В. С. Смірнов.

Література

Ашуева, Т., Кирнос, Л., Суржик, Т., Смирнов, В. (2000). Электротепловая неустойчивость в среде с неоднородным распределением электрического поля и температуры. *Технічна електродинаміка*, 3, 8—10.

Ашуева, Т., Кирнос, Л., Суржик, Т., Смирнов, В. (1999). Эффективная электрическая проводимость и диэлектрическая проницаемость гетерогенных сред в переменном поле. *Праці Інституту електродинаміки НАН України*, 1, 13—17.

Ромоданова, В., Смірнов, В., Гуляев-Зайцев, С., Мазуренко, О., Кочубей, О., Пухляк, А. (1998). Електрометричне визначення якості. *Збірник наукових праць УДУХТ*, 4, С. 37.

Ромоданова, В., Смірнов, В., Мазуренко, О., Кочубей, О. (1997). Електрометрія молочних продуктів. *Харчова промисловість*, 8, 24—25.

Ромоданова, В., Смірнов, В., Кочубей, О., Мазуренко, О. (1999). Ефективність виробництва за електро- та теплофізичними характеристиками згущених молочних продуктів. *Харчова промисловість*, 11—12, 15.

Смирнова, А. В., Шулика, В. П., Мельник, В. О., Крапивницька, І. О., Смірнов, В. С. (2004). Електрометрія пектинових екстрактів. *Наукові праці НУХТ*, 15, 16—17.

Смірнов, В. (1998). Електрометричне тестування якісних характеристик молока та молочних виробів. *Збірник наукових праць УДУХТ*, 4, 48—49.

Смірнов, В. (2005). Електричні характеристики як об'єкти ідентифікації рідин з солями металів. *Харчова промисловість*, 4, 131—133.

Смірнов, В., Кропивницька, І., Шулика, В., Мельник, В. (2000). Електрофізичний метод контролю в пектиновому виробництві. *Харчова промисловість*, 1, 24—25.

Смірнова, Г. В., Мазуренко, О. О., Мазуренко, О. Г., Смірнов, В. С. (2009). АЧХ-тести для стандартизації та ідентифікації технологічних середовищ. *Харчова промисловість*, 8, 42—44.

DEVELOPMENT OF THE TRACEABILITY SYSTEM FOR THE PASTA PRODUCTION

M. Drychyk, O. Shulga

National University of Food Technologies

Key words:

Traceability

Pasta

Safety

Market operator

Article history:

Received 12.07.2022

Received in revised form

28.07.2022

Accepted 19.08.2022

Corresponding author:

O. Shulga

E-mail:

shulgaos@ukr.net

ABSTRACT

The traceability system is a necessary component for identification the market operator, time, place, an object and other conditions of supply (sale or transfer) sufficient to establish the food origin, materials in contact with food products, or substances intended to be included, or expected to be included in the recipe of food, at all production stages, processing and circulation. The Law of Ukraine «On Basic Principles and Requirements for the Safety and Quality of Food» clause 74 of Article 1, Regulation (EC) No. 178/2002 and ISO 22005:2007 and CAC/GL 60-2006 and GS1 provide general requirements for traceability systems, however, each branch of the food industry has its own specifics regarding the implementation of the traceability system.

The article presents the results of the traceability development for pasta production. There is the block traceability diagram production for pasta production, the plan of the internal system and tools for the traceability system implementation are proposed. Implementation of the traceability system for pasta production will allow solving the following tasks: identifying partners in the food chain; carry out a quick search for pasta dangerous for nutrition; control all product components and the entire food chain; promptly remove pasta products from circulation when there is a threat to the consumers health; ensure compliance with specifications; provide an opportunity for the market operator to achieve compliance with the requirements of legislation and regulatory documents; achieve effective management of supply logistics as a whole; help the consumer to get information about raw materials, product composition and production method; perform upward tracing from the consumer to the producer and downward tracing from the producer to the consumer.

РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ ПРОСТЕЖУВАНOSTІ ПІД ЧАС ВИРОБНИЦТВА МАКАРОННИХ ВИРОБІВ

М. Ю. Дричик, О. С. Шульга

Національний університет харчових технологій

Система простежуваності є необхідною складовою, яка надає можливість ідентифікувати оператора ринку, час, місце, предмет та інші умови постачання (продажу або передачі), достатні для встановлення походження харчових продуктів, тварин, призначених для виготовлення харчових продуктів, матеріалів, що контактують з харчовими продуктами, або речовин, що призначені для включення, або очікується, що вони будуть включені в харчові продукти на всіх стадіях виробництва, переробки та обігу. У Законі України «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів» п.74 ст.1, Регламенті (ЄС) № 178/2002 та ISO 22005: 2007 і CAC/GL 60-2006 та GSI викладено вимоги щодо системи простежуваності, проте кожна галузь харчової промисловості має свою специфіку впровадження системи простежуваності.

У статті представлено результати розроблення системи простежуваності для макаронного виробництва. Розроблено блок-схему простежуваності процесу виробництва, план внутрішньої системи та запропоновано інструменти реалізації системи простежуваності. Впровадження системи простежуваності на макаронному виробництві дасть змогу вирішувати такі завдання: ідентифікувати партнерів у харчовому ланцюгу; здійснювати швидкий пошук небезпечних макаронних виробів; контролювати всі складники продукту та весь харчовий ланцюг; оперативно вилучати макаронні вироби з обігу під час виникнення загрози здоров'ю споживачів; забезпечувати відповідність специфікаціям; надавати можливість оператору ринку досягти відповідності вимогам законодавства та нормативних документів; досягти ефективного управління логістикою постачань в цілому; допомагати споживачу отримувати інформацію про сировину, склад продукту та спосіб виробництва; здійснювати висхідне простеження від споживача до виробника та низхідне простеження від виробника до споживача.

Ключові слова: *простежуваність, макарони, безпечність, оператор ринку.*

Formulation of the problem. Every year, Ukrainian manufacturers increase the number of manufactured products for export to more developed countries, due to which there is a need to meet international requirements for the quality and safety of products (Прокоф'єв, & Слива, 2011). Currently, Ukrainian legislation is at the stage of active harmonization with European legislation, therefore the implementation of European (international) standards in the field of food safety is mandatory to ensure the products export. In addition, the term traceability is defined by Clause 74 of Article 1 of the Law of Ukraine «On Basic Principles and Requirements for the Safety and Quality of Food».

European legal requirements for the implementation of traceability are contained in

Regulation (EC) No. 178/2002 and ISO 22005:2007 and CAC/GL 60-2006.

In accordance with the GS1 (the global language of business) requirements, the authors of methodological recommendations on the traceability application to control the food safety in the food chain (Касянчук, Бергілевич, Новожицька, Марченко, Єфімова, & Ротаєнко, 2014) distinguish the following objectives and tasks of traceability:

1. Identify partners in the food chain.
2. Carry out a quick search for defective or dangerous food products.
3. Provide guarantees of food safety.
4. Control all product components and the entire food chain.
5. Promptly remove feed and food from circulation when there is a threat to the consumers health.
6. Ensure compliance with specifications and requirements of trading partners or traceability partners.
7. Enable the manufacturer to achieve compliance with the requirements of legislation and regulatory documents.
8. Achieve effective management of supply logistics.
9. Help the consumer to get information about raw materials, product composition and production method (organic or inorganic production).
10. Carry out upward tracing from the consumer to the producer (Tracing).
11. Carry out downward tracing from the producer to the consumer (Tracking).

Therefore, the traceability system at the food enterprise is mandatory in accordance with the modern requirements of both Ukrainian and European legislation.

Recent research analysis and publications. Ensuring the production of safe products is now a duty for every market operator (Белінська, Орлова, & Мотузка, 2011; Касянчук, Бергілевич, Єфімова, & Ротаєнко, 2015). Certification is confirmation in accordance with the requirements of the international standards. The traceability system is a mandatory component of these standards as the company's safety system component (Кукльєва, 2020; Покидько, & Хіщька, 2020).

Each branch of the food industry has its own specifics regarding the development and implementation of the traceability system. So, in particular, the authors of the publication (Богатко, 2017; Грищенко, 2012) offer traceability for fodder production. The authors (Поварова, & Мельник, 2018) present the traceability system in the meat industry, and the authors (Птиці, 2017) present the traceability system for poultry meat as a basis for ensuring quality and safety. For the production of rye-wheat bread, the traceability system is presented by the authors (Петриченко, 2018).

The authors (Resende-Filho, & Hurley, 2012) determine traceability by its precision that is the probability of finding the problem source. A limitation of potential causes is the important stimulating traceability part. The raw material defects are the first stage.

The concepts of supply chain management and traceability in agriculture, and highlight the technological challenges in implementing traceable agricultural supply chains are presented (Опара, 2003).

The authors (Olsen, & Borit, 2018) presents a structure for describing and analyzing a traceability system. There is the difference between the system mechanisms to the trace units attributes. Classification is based on practical experience from traceability system implementations in the food industry, and participation in international

standardization processes relating to food traceability.

The article (Tian, 2017) presents a food supply chain traceability system for real-time food tracing based on HACCP, Internet of things and blockchain. This system could provide all participants in the chain with honesty, openness, safety and quality.

So, nowadays the development of traceability is quite active in various industries and, in particular, for pasta production, it is quite relevant, as it is not presented in the scientific literature.

The study aim is to develop a traceability system for a pasta enterprise, which will ensure the safe production, as well as the possibility of entering the European market.

Materials and methods. In order to develop a traceability system, general scientific research methods were used, namely analysis, generalization, and systematization. The methodological basis of traceability is given in the GS1 Global Traceability Standard. The completeness of labeling on consumer packaging must comply with the Law «On Information for Consumers Regarding Food Products» December 6, 2018 No. 2639-VIII.

The traceability system development algorithm consists of 11 steps (Касянчук, Бергілевич, Новожицька, Марченко, Єфімова & Ротаєнко, 2014):

1. To get recommendations from experts.
2. Model the supply chain, according to the tasks of the traceability system.
3. Determination of key business needs.
4. Description of the goods physical flow.
5. Establishing traceability partner roles.
6. Identification of the item trade level being monitored.
7. Selection of technologies and tools to support the traceability system.
8. Process validation.
9. Model of internal processes (for a market operator).
10. Final check of the traceability system model.
11. Support of standards.

Presentation of the study main results.

Before developing a traceability system for pasta production, it is advisable to define concepts. Traceability is the ability to identify the market operator, time, a place, an object and other conditions of supply (sale or transfer). The specified data should be sufficient to establish the origin and materials in contact with food. In addition, traceability allows to identify the substances which included or expected to be included in food at all production stages, processing and circulation. This definition is provided by Clause 74 of Article 1 of the Law of Ukraine «On Basic Principles and Requirements for the Safety and Quality of Food». The development of the traceability system will require the fulfillment of the positions given in the definition, which can be achieved through the implementation of 11 steps (Касянчук, Бергілевич, Новожицька, Марченко, Єфімова, & Ротаєнко, 2014).

The identification coding must be unique for a particular product and short enough, must carry enough information to link the product to the documented information.

The following data are required to create a recognition (identification) marking of a pasta batch:

- the state number of the manufacturer (the first 4-6 digits of the marking), which will allow the market operator to have an original, unique identification batch mark;

- date marking, for example, the date «August 28, 2022» can be represented as: «20220828»;

- process/product identifier, which can be represented by line identification number, batch number, batch number.

In addition to the specified marking, pasta must have an identification marking of the internal traceability system. Each market operator must implement documentation (paper or electronic), which includes:

- warehouse accounting;
- variable reports;
- records of the manufacturing process;
- analysis results;
- monitoring of control and critical points;
- accompanying documents;
- information on transport packages (traceability cards which can be replaced by a barcode system);

- labeling on consumer packaging in accordance with the requirements of the Law On Information for Consumers Regarding Food» December 6, 2018 No. 2639-VIII.

The information which will allow to effectively ensure the system of pasta internal traceability should contain the following information:

- the product name;
- the date of manufacture (batch number);
- the amount of product;
- «Use by» information (expiration date);
- end consumer and shipped quantity;
- on which line it is packed (if necessary);
- the technological parameters of the packaging and labeling process;
- the analysis results;
- the packaging materials in contact with the product were used (name, batch number/date of arrival).

Data on the pasta shipment must contain information about consumers, amount of products and the shipped day.

The identification marking of the external traceability system is characterized by business connections between partners in the food chain and proper informing. Informing can be due to marking, tagging, labeling, application of barcodes, reporting and accompanying documents, etc. The first stage of the traceability system is the information on the consumer packaging, which must comply with the Law of Ukraine «On Information for Consumers Regarding Food» December 6, 2018 No. 2639-VIII:

- the name of the food;
- the list of ingredients;
- the allergen – gluten;
- the food amount in the measurement established units;
- minimum expiration date or «use by» date;
- storage conditions and/or conditions of use (if necessary);
- the name and location of the food market operator responsible for information on the food, and for imported food, the name and location of the importer;
- the instructions for use;

- the information about the nutritional food value.

The traceability system consists of three basic traceability elements: a supplier (external, the step back), processes (internal), a consumer (external, the step forward). Internal traceability consists of data on raw materials, production, transportation for product sales.

The traceability block diagram of raw materials and finished products is presented in Figure 1. The internal traceability plan during the pasta production is given in the Table 1.

Table 1. The internal traceability plan during pasta production

The object	The contents of the process
The raw materials	1. Product accompanying documentation (supplier, name of raw material, quality and safety indicators, date of receiving, expiration date); 2. Journal of raw materials control in the market operator warehouse
The production	1. Recipes and technological instructions; 2. Documentation of the Food Safety Quality Management System (FSQMS); 3. Results of final products manufactured batch quality control
The products	1. Declaration of the manufacturer; 2. Marking of transport and consumer packaging; 3. Conditions for storing products in the manufacturer's warehouse
Transportation of final products	Freight bill of lading

Therefore, in order to create internal traceability, it is necessary to create appropriate basic programs, standard operating procedures and maintain links between input and output data. The presence of operating procedures is mandatory according to the current quality and/or safety system.

In order to implement the traceability system, appropriate instruments are required, which are listed in Table 2.

Table 2. The tools and technologies to support the traceability system

The technology	The instruments
Identification	Stamp, label, mark, accompanying documentation. Human-readable format or machine-readable format (barcodes, RFID tags), etc
Data collection and transfer	Label, Marking, Message, Fax, Internet, Phone, Databases, Physical Inspection, Supporting Documentation, etc.
Data storage	Laptop/PC, database (internal or provided for use by service provider over the Internet)
Monitoring request management	Phone, email, fax

Currently, most market operators prefer paper information carriers.

Conclusions

The developed traceability system is based on the correct technological process organization, clear record-keeping at all stages, conscientious performance of the functional duties of each employee. The traceability system for pasta production makes it possible to prevent the danger occurrence, and also facilitates the maintenance of the effective other systems functioning implemented in production. The periodic review of the traceability system ensures its correct functioning. The more dynamic system the better the result it will provide. The employees professional level is also a necessary component. In addition, the traceability system functioning at the enterprise is a necessary component for the possibility of exporting products.

Література

- Белінська, С., Орлова, Н., Мотузка, Ю. (2011). Концептуальні засади гарантій безпечності харчових продуктів, *Товари і ринки*, 1, 176—182. Взято з: http://nbuv.gov.ua/UJRN/tovary_2011_1_26.
- Богатко, Н. М. (2017). Загальні принципи щодо запровадження системи простежуваності у кормових та харчових ланцюгах. *Проблеми зооінженерії та ветеринарної медицини*, (1), 34—37. Взято з: <http://www.irbis-nbuv.gov.ua/>.
- Грищенко, Ф. В. (2012). Система простежуваності у кормових і харчових ланцюгах: основні вимоги. *Зернові продукти і комбікорми*, 2, 25—29. Взято з: <http://irbis-nbuv.gov.ua/>.
- Касянчук, В. В., Бергілевич, О. М., Новожицька, Ю. В., Марченко, А. М., Єфімова, О. М., Ротаєнко, Ю. (2014). Методичні рекомендації щодо застосування простежуваності для контролю безпечності харчових продуктів в харчовому ланцюгу. Взято з: <http://repo.sau.sumy.ua/handle/123456789/2676>.
- Касянчук, В. В., Бергілевич, О. М., Єфімова, О. М., Ротаєнко, Ю. (2015). Система простежуваності — сучасна технологія контролю в харчовому ланцюгу для підвищення рівня безпечності харчових продуктів, *Ветеринарна медицина України*, 2, 25—29. Взято з: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vetm_2015_2_9.
- Куклева, Т. Г. (2020). Система простежуваності харчових продуктів в Україні. *Підприємництво, торгівля, маркетинг: стратегії, технології та інновації*: матеріали III міжнар. наук.-практ. конф. Київ: КНТЕУ. Взято з: <https://knute.edu.ua/file/NjY4NQ==/6c8ffb4f4431b2421eea665abaa9b4a1.pdf>.
- Петриченко, В. І. (2018). Система простежуваності виробництва житньо-пшеничного хліба. Основні вимоги. *Альманах наук*, 12/2(21), 28—31. Взято з: [http://almanah.ltd.ua/save/2018/12%20\(21\)/207.pdf](http://almanah.ltd.ua/save/2018/12%20(21)/207.pdf).
- Поварова, Н. М., Мельник, Л. А. (2018). Розвиток системи простежуваності у м'ясній промисловості. *Scientific Works*, 82(2), 17—23. <https://doi.org/10.15673/swonaft.v82i2.1157>.
- Покидько, А. М., Хіщка, О. А. (2020). Простежуваність харчових продуктів: законодавство, основні принципи та переваги: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. студентів «Актуальні проблеми ветеринарної медицини». Взято з: <http://rep.btsau.edu.ua/handle/BNAU/5136>.
- Прокоф'єв, В., Слива, Ю. (2011). Система в простежуванні в харчовому ланцюзі за міжнародними, європейськими та національними вимогами. *Продовольча індустрія АПК*, (3), 38—41. Взято з: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21037423>.
- Птиці, Я. (2017). Простежуваність як основа забезпечення якості та безпечності продуктів з м'яса птиці. *Інноваційний розвиток харчової індустрії*: зб. наук. праць за матеріалами V міжнар. наук.-практ. конф. Взято з: <https://dspace.dsau.dp.ua/bitstream/123456789/1255/1/>.
- Ткаченко, О. В., Пащук, В. В. (2021). Ідентифікація і забезпечення простежуваності медичних виробів у відповідності до регламенту ЄС 2017/745. *Фармацевтичне товарознавство — погляд у майбутнє*: матеріали VII наук.-практ. інтернет-конф. з міжнар. участю, 43—44. Взято з: <http://dspace.nuph.edu.ua/handle/123456789/24673>.

Resende-Filho, M. A., Hurley, T. M. (2012). Information asymmetry and traceability incentives for food safety. *International Journal of Production Economics*, 139(2), 596—603. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.05.034>.

Opara, L. U. (2003). Traceability in agriculture and food supply chain: a review of basic concepts, technological implications, and future prospects. Взято з: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=FI2016100260>.

Olsen, P., Borit, M. (2018). The components of a food traceability system. *Trends in Food Science & Technology*, 77, 143—149. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.004>.

Tian, F. (2017). A supply chain traceability system for food safety based on HACCP, blockchain & Internet of things. In *2017 International conference on service systems and service management* (pp. 1—6). IEEE. Взято з: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7996119>.

THE INFLUENCE OF XANTHAN ON THE STRUCTURAL AND VISCOUS CHARACTERISTICS OF FRUIT AND VEGETABLE PUREE

O. Tochkova, I. Baklan, O. Bessarab

National University of Food Technologies

Key words:

*Plums
Apples
Polysaccharide
Xanthan
baby food
Viscosity*

Article history:

Received 08.07.2022
Received in revised form
20.07.2022
Accepted 12.08.2022

Corresponding author:

O. Tochkova
E-mail:
oksanatochkova063
@gmail.com

ABSTRACT

The features of Ukraine's geographical location and soil-climate zone make it one of the leading countries in terms of the development of the agrarian and industrial complex. The production capacity of the state can provide 65% of the population's need for canned fruit and vegetables.

The production of canned food for children is the main condition for the development of children and the formation of a healthy generation. The production of canned food provides year-round balanced nutrition for children of all age categories.

According to health care specialists, about 70% of children under one year need artificial and mixed nutrition. Therefore, along with other types of canned goods, products intended for children are being distributed. Consumption of canned goods enriched with pectins, vitamins, micro- and macroelements reduces the accumulation of radionuclides, normalizes digestion.

In the process of developing the technology for obtaining a new product, a number of studies were conducted, the best technological conditions were selected for the production of the highest quality product from apples and dried plums, with increased biological value and high organoleptic indicators.

Xanthan, a polysaccharide of natural origin, was added to the ready puree of apples and dried plums. The amount of added xanthan is 0.1%; 0.3%; 0.7% to the mass of puree at a temperature from 30 °C to 60 °C with step of 10 °C

Experimental studies of apple puree and dried plum indicators, in particular rheological indicators, were carried out on the Rheotest RV2.1, where the dependence of the wheel speed on the applied force was established. The structural and viscous changes which occurred in the apple-plum puree under the action of the applied force were determined. The content of dry substances and acidity were studied.

It was found that the best quality characteristics were obtained for the sample with the introduction of xanthan 0.1% to the puree mass at a temperature of 30—40 °C.

ВПЛИВ КСАНТАНУ НА СТРУКТУРНО-В'ЯЗКІСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛОДОВО-ОВОЧЕВОГО ПЮРЕ

О. В. Точкова, І. О. Баклан, О. С. Бессараб

Національний університет харчових технологій

Завдяки особливостям географічного положення та ґрунтово-кліматичної зони Україна є однією з провідних держав за розвитком аграрно-промислового комплексу. Виробничі потужності нашої держави можуть забезпечувати потребу населення у плодовоовочевих консервах на 65%.

Виробництво консервів дитячого харчування — це основна умова розвитку дітей та формування здорового покоління. Виробництво консервів забезпечує цілорічне збалансоване харчування дітей усіх вікових категорій.

За даними спеціалістів охорони здоров'я, близько 70% дітей до одного року потребують штучного та змішаного харчування, тому поряд з іншими видами консервів розповсюдження набувають продукти для дитячого призначення. Вживання консервів, збагачених пектинами, вітамінами, мікро- та макроелементами, знижує накопичення радіонуклідів, нормалізує травлення.

У процесі розроблення технології отримання нового продукту було проведено ряд досліджень, вибрано найкращі технологічні умови для виробництва максимально якісного продукту з яблук і сушених слив, підвищеної біологічної цінності та високими органолептичними показниками.

У готове пюре з яблук та сушених слив вносили полісахарид природного походження ксантан. Кількість внесенного ксантану становила 0,1%, 0,3% та 0,7% до маси пюре при температурі від 30 °С до 60 °С з кроком 10 °С.

Експериментальні дослідження показників пюре з яблук і сушених слив, зокрема реологічних показників, проводили на реотесті RheotestRV2.1, де встановлювали залежність колової швидкості від прикладеного зусилля. Визначали структурно-в'язкісні зміни, що відбувались у яблучно-сливовому пюре під дією прикладеного зусилля. Досліджували вміст сухих речовин і кислотність. Встановили, що найкращі якісні характеристики отримали для зразка з внесенням ксантану 0,1% до маси пюре при температурі 30—40 °С.

Ключові слова: сливи, яблука, полісахарид, ксантан, дитяче харчування, в'язкість.

Постановка проблеми. Безпечне дитяче харчування стає все більш актуальною і нагальною потребою сьогодення. Продукти дитячого харчування — це продукція, до якої висуваються підвищені вимоги (Осокіна, 2005) порівняно з іншими видами харчової сировини. Вони повинні задовольняти потреби зростаючого організму в енергії, мікро- та макроелементах, вітамінах на всіх етапах його розвитку.

Консервовані харчові продукти дають змогу скоротити витрати праці та часу на приготування їжі в домашніх умовах (Хилевич, & Сеньков, 2002), урізноманітнити меню і забезпечити безперервне споживання продуктів протягом року

із сировини, що росте лише в теплий період року, тобто з овочів і плодів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Продукти дитячого харчування — це особлива категорія, що потребує особливих вимог до сировини (Скалецька, 2007; Qasem, Fenton, & Friel, 2015; Fewtrell, Bronsky, & Lapillonne, 2017) при створенні дитячого харчування. Передусім під час приготування дитячого харчування потрібно дотримуватися необхідної консистенції. Так, для дітей до семи місяців готують виключно напіврідкі пюре. З восьми місяців — консистенція їжі повинна бути гущішою, крім пюре можна давати трошки твердих продуктів. Важливе місце у прикормі малюка (Birch, Savage, & Ventura, 2007) займають фруктові та овочеві соки і пюре. Адже саме через них (Rapson, Hurst & Conlon, 2021) малюк вперше куштує фрукти, овочі та ягоди. Розроблено великий асортимент найменувань консервів для дитячого харчування на основі плодовоовочевої сировини.

Фруктові пюре, на відміну від соків, це вже не рідина, а гущіша їжа, хоча ще й не вимагає пережовування. Як і стосовно фруктових соків, автори стверджують (Мусивов, 2007), що найбільш доцільно використовувати в харчуванні дітей першого року життя консервовані фруктові пюре промислового випуску. Близько року дитина вже повинна вміти пережовувати досить великі шматочки їжі (Skinner, Carruth, Wendy, & Ziegler, 2002), але все ж такі пюре має складати основу її меню. До півторарічного віку страви все ще подрібнюють, але вже не настільки, як раніше. Не слід надто довго тримати дитину на м'якій їжі — вона і її організм можуть звикнути і внаслідок цього відмовиться перетравлювати тверду їжу.

Економічна ситуація показує (Найченко, & Осадчий, 2007), що натеper створення нової вітчизняної торговельної марки є дуже складним завданням — існує великий ряд обмежень і при цьому ринок непривабливий для інвесторів. Однак, з іншого боку, ринок насичений недостатньо і має перспективи зростання. Крім того, на продукцію існує досить сталий попит, який теж може зрости при належній політиці просування.

Усе дитяче харчування, що продається в наших магазинах і в аптеках, проходить суворий контроль і можна бути абсолютно впевненим у його високій якості.

У праці (Токар, Харченко, & Войцехівський, 2020) досліджено фізико-хімічні властивості овочево-фруктових пюре з плодів гарбуза, моркви, аличі та волоських горіхів.

Також створено консерви для дитячого та дієтичного харчування (патент 68283 «Консерви для дитячого та дієтичного харчування»), до складу якого додатково входить грибний компонент при такому співвідношенні інгредієнтів, мас. %: овочевий компонент 60,0—65,0 зерновий компонент 35,0—40,0 біомаса гриба *Lentinusedodes* та/або *Ganoderma lucidum* 1,0—3,0. Як овочевий компонент можуть бути використані пюре моркви, броколі, гарбуза, суміш пюре моркви та кабачків, суміш пюре моркви, броколі або цвітної капусти, картоплі та кабачків. Як зерновий компонент використовується борошно рису або пшениці, кукурудзяний крохмаль.

Запропоновано спосіб отримання живильної суміші для дитячого харчування, що включає змішування жиро-, білково- і вуглеводмістких харчових продуктів,

що використовуються для дитячого і дієтичного харчування, з водою і гомогенізацію отриманої суміші, яка відрізняється тим, що перед змішуванням харчові продукти висушують і дроблять, як білкововмісні харчові продукти використовують шпинат, салат і амарант, а змішування з водою здійснюють безпосередньо перед вживанням (патент 2136171C1 «Спосіб отримання харчового білково-вітамінного продукту із зелених рослин»).

Пропонований спосіб дає змогу отримувати широкий спектр сухих живильних сумішей для дитячого харчування, збалансованих за складом білків, жирів і вуглеводів, які містять необхідні вітаміни і мікроелементи, за спрощеною технологією, що не вимагає введення вітамінних препаратів і консервантів з терміном зберігання більше року, що не чинять корозійної дії на устаткування в процесі приготування, який може служити заміником молока в раціоні дітей, не сприйнятливих до білків і жирів тваринного походження.

Також запропоновано спосіб виробництва плодово-ягідного пюре для дитячого та дієтичного харчування (патент 2258437C2 «Спосіб отримання плодово-ягідного пюре для дитячого і дієтичного харчування»). Дослідження полягають у додаванні в пюре топінамбура в кількості 50—75% від загальної маси як підсолджувача для пюреподібних консервів дитячого і дієтичного харчування. Метою дослідження є здешевлення процесу виробництва пюреподібних дитячих і дієтичних консервів на основі кислотної фруктові сировини, підвищення їх якості і розширення сфери застосування.

У працях (Фесун, 2021; Івахно, & Козярін, 2019) проаналізовано використання харчових добавок у продуктах дитячого харчування, зокрема широко висвітлюються регулятори консистенції, що застосовуються для зміни фізико-хімічних властивостей напівфабрикатів і створення необхідних реологічних властивостей готових продуктів. Застосування гідроколоїдів у харчовій промисловості покращує властивості готових продуктів харчування з точки зору користі для здоров'я. Сучасне життя і нові технології оброблення харчових продуктів призвели до попиту на продукції з високим вмістом харчових волокон і низьким вмістом жиру. Це й викликало підвищений попит на гідроколоїди.

У праці (Phillips, & Williams, 2006) досліджено, що концентрація полісахаридів в продуктах не перевищує 1%, але вони впливають на текстурні й органолептичні властивості сировини.

Камедь ксантану — зовнішньоклітинний гетерополісахарид, отриманий у результаті специфічного процесу бродіння бактерій роду *Xanthomonascampestris* (Фесун, 2021). Кожна молекула камеді ксантану складається з повторюваних фрагментів, які включають п'ять залишків: два залишки глюкози, два — манози та один — галактуронової кислоти. Розчини камеді ксантану є високопластичними. При зростанні дотичної напруги їх в'язкість зменшується, а після зняття зусилля початкова в'язкість відновлюється практично миттєво. Така поведінка може бути результатом формування молекулярних агрегатів через водневі зв'язки та утворення складного просторового каркаса. Прикладання напруги призводить до руйнування цієї структури та вирівнювання молекул за напрямком дії сили. Проте при знятті зусиль структура швидко відновлює форму, що є характерним для тиксотропної поведінки колоїдних розчинів.

Ксантанова камедь залишається одним із найефективніших та універсальних

модифікаторів і стабілізаторів, що є на ринку. Застосування камеді ксантану в харчовій промисловості зумовлене її унікальними фізико-хімічними властивостями. Особлива псевдопластична реологія, теплова і кислотна стабільність, високий ступінь в'язкості та висока розчинність у водному середовищі забезпечують широке використання камеді ксантану як багатоцільового стабілізатора, загущувача та допоміжного матеріалу в процесі виробництва. Поряд з високою агрегативною стійкістю як колоїдного розчину, для цього продукту характерна незвичайна стійкість до інтенсивної механічної і теплової дії та дії ферментів. Камедь ксантану характеризується довготривалою стабільністю навіть в умовах високої кислотності середовища та при великій концентрації солей.

Встановлено, що камедь ксантану виявляє синергетичну взаємодію з галактомананами. Це проявляється у підвищенні в'язкості розчинів. Типовими представниками галактомананів є камеді гуару та рожкового дерева.

Незважаючи на широке використання полісахаридів у харчовій промисловості, (Sworn, 2009; Tochkova, Gagan, & Melnyk, 2021), особливості їхньої дії як стабілізаторів та згущувачів ще недостатньо вивчені. Знання механізму структуруючої дії цих речовин, характеру взаємодії з іншими компонентами складних речовинних сумішей дасть змогу цілеспрямовано впливати на якість готових продуктів і створювати сучасні екологічно безпечні та високоефективні харчові технології.

Запропонований полісахарид ксантану — цеклітинний гетерополісахарид, отриманий у результаті процесу бродіння бактерій. Встановлено, що камедь ксантану (глей) виявляє синергетичну взаємодію з галактогананами. Це проявляється у підвищенні в'язкості розчинів, що є важливим у виробництві пюре.

Ксантанова камедь залишається одним із найбільш ефективних і універсальних згущувачів, гелеутворювачів і стабілізаторів, що є на ринку. Застосування камеді ксантану (Sworn, 2009) у харчовій промисловості зумовлене її унікальними фізико-хімічними властивостями. Вона добре розчинна у холодній і гарячій воді, молоці, солі та цукрі. Молекули ксантану адсорбують воду з утворенням тривимірної сітки з подвійних спіралей ксантану, що за структурою близький з гелем, але відрізняється меншою в'язкістю. Камедь ксантану виявляє довготривалу стабільність навіть в умовах високої кислотності середовища та при великій концентрації солей.

Незважаючи на широке використання ксантану, зокрема в дитячому харчуванні, особливості його дії як стабілізатора та загущувача, ще не досить вивчені. Ксантан має нульовий рівень безпеки. Тому його рекомендується використовувати для дитячого та дієтичного харчування.

Яблуна — одна з найпоширеніших плодових культур земної кулі. Обробляється вона на загальній площі понад 5 млн га, у тому числі в нашій країні на площі близько 3 млн га. Світове виробництво плодів цієї важливої промислової культури становить (Найченко, & Осадчий, 2007), залежно від врожайності року — 21—25 млн тонн. В Україні щорічні збори яблук складають 6 млн тонн. Настільки широке поширення яблуні пояснюється її цінними біолого-виробничими ознаками: транспортабельністю і лежкістю плодів, високою врожайністю, десертними якостями плодів і задовільною зимостійкістю.

Слива є однією з найбільш поширених кісточкових культур. Більшість сортів

домашньої сливи, (Личко, 2008; Ялпачик, & Доштитин, 2003) особливо ренклоди й угорки, відзначаються виключно високими смаковими якостями. Сливи чинять ніжну послаблюючу дію на кишківник, тому рекомендується для очищення при запальних проявах кишківника У плодах містяться цінні для людини цукри, органічні кислоти, азотисті речовини, вітаміни тощо. Рід сливи нараховує близько 35 видів, але в культурі поширені тільки слива домашня (алича), сливка китайська, терен, слива американська, слива усурійська, слива канадська, слива вузьколиста, американська садова слива, слива гусина, сливка Сімона. Як і інші плоди, що містять пектини, сливи сприяють виведенню з організму радіоактивних речовин.

Метою статті є дослідження поре дитячого харчування з яблук і сушених слив з підвищеним вмістом біологічно активних речовин та вплив на нього полісахариду ксантану з метою покращення структурно-в'язкісних характеристик, фізико-хімічних, органолептичних показників для удосконалення рецептури поре.

Матеріали і методи. Для досліджень був обраний полісахарид ксантан, що впливає на фізико-хімічні властивості поре та формування пружно- і в'язко-пластичних властивостей. Співвідношення з іншими рецептурними інгредієнтами створює нові структурні властивості поре.

Вміст сухих речовин у сировині — яблуках і сливах, визначали за допомогою рефрактометричного методу (Дубініна та ін., 2010). Титровану кислотність визначали за допомогою метричної бюретки; активну кислотність — за допомогою рН-метра (Дубініна та ін., 2010).

Визначення реологічних властивостей поре проводили на реотесті Rheotest RV2.1 згідно з інструкцією (Інструкція з експлуатації Rheotest RV2.1, 1990).

Очищені та подрібнені яблука бланшували 15—25 хв у киплячій воді для розм'якшення і полегшення подальших операцій. Сливи сушені мили та бланшували для розм'якшення 20—30 хв, після чого всю сировину протирали до поре-подібного стану.

Викладення основних результатів дослідження. Аналізуючи отримані показники, можна стверджувати, що свіжі яблука та сливи сушені повністю відповідають вимогам стандарту (ДСТУ 2849-94 Яблука свіжі; ДСТУ 2435:2007 Сливи сушені) для отримання високоякісного продукту.

Таблиця 1. Органолептичні показники яблук і слив сушеної

Показник	Характеристика	
	Яблука	Слива сушена
Зовнішній вигляд	Фрукти свіжі, цілі, здорові, чисті, без пошкоджень сільськогосподарськими шкідниками, без надлишкової зовнішньої вологи, не тріснуті	Зморщені плоди
Колір	Темно-червоний	Темно-синій
Смак і запах	Не має стороннього запаху та смаку	Не має стороннього запаху та смаку

Таблиця 2. Фізико-хімічні показники яблук і сливи сушеної

Показники	Яблука	Слива
Вміст сухих речовин за рефрактометром, %	9	12
pH	4,2	4,6
Загальна кислотність, %	0,3—0,6	0,2—0,5

У процесі розробки нового продукту було проведено ряд досліджень, які дали змогу вибрати найкращі рецептурні умови для виробництва максимально якісного продукту.

Рецептура приготування пюре згідно з технологічними інструкціями (Технологічні інструкції, 1990) наведена в табл. 3. У табл. 4 наведена рецептура пюре з додаванням полісахариду ксантану.

Таблиця 3. Рецептура виготовлення пюре для дитячого харчування на 100 г

Сировина і матеріали	Рецептура, г/100 гр
Яблука	488
Сливи	400
Цукор	75
Лимонна кислота	15

Для покращення органолептичних, якісних показників пюре з яблук і сушених слив додавали природний полісахарид ксантан. Кількість ксантану становила 0,1 %, 0,3 % та 0,7 % до маси пюре при $t = 3\text{ }^{\circ}\text{C}$, 40, 50 та $60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Таблиця 4. Рецептура виготовлення пюре для дитячого харчування з додаванням ксантану на 100 г

Показники	T = 30 °C		T = 40 °C		T = 50 °C		T = 60 °C		Консистенція
	CP, %	pH	CP, %	pH	CP, %	pH	CP, %	pH	
Пюре з яблук і слив сушених (контрольний зразок)	18	4,67	18	4,78	18	4,8	18	4,85	М'яка структура
Пюре + 0,1 % ксантану до маси пюре	20	4,88	21,7	4,89	24,4	4,87	25	4,9	В'язка
Пюре + 0,2 % ксантану до маси пюре	22	4,92	24	5,01	24	4,92	24	4,89	В'язка
Пюре + 0,3 % ксантану до маси пюре	23,7	4,88	23	4,92	25	4,90	25	4,92	В'язка

Аналізуючи табл. 4, бачимо, що із додаванням полісахариду ксантану вміст CP збільшується, структура пюре стає більш в'язкою. При внесенні 0,1% ксантану до маси пюре вміст CP збільшився на 11%, при додаванні 0,3% — на 33%, при внесенні 0,7% — підвищився на 39%, якщо порівняти з контрольним зразком. Тобто чим більшу кількість полісахариду вносимо в пюре, тим вищі значення CP.

Значення рН залишаються стабільними, змінюються лише в межах похибки.

Для дослідження якісних показників пюре із яблук та сушених слив, зокрема реологічних властивостей, проводили дослідження на реотесті Rheotest RV2.1, де встановлювали залежність колової швидкості від прикладеного зусилля.

Графіки залежності колової швидкості від прикладеного зсувного зусилля при $t = 30^\circ\text{C}$ наведені на рис. 2—6.

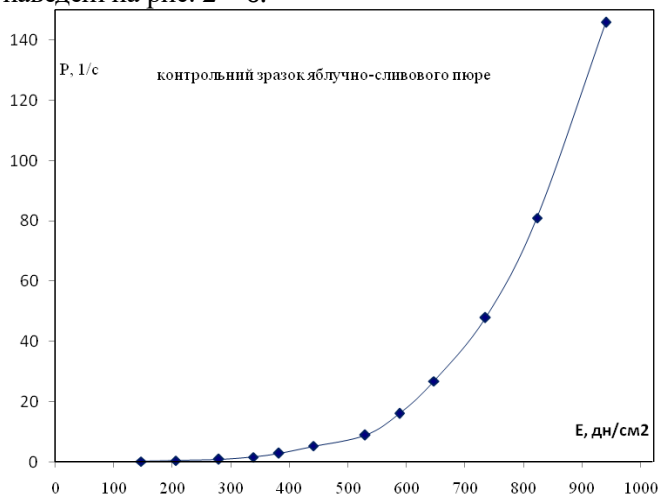


Рис. 1. Залежність колової швидкості P (1/с) від прикладеного зсувного зусилля E (дН/см²), контрольний зразок яблучно-сливового пюре

Представлена на рис. 1 залежність колової швидкості від прикладеного зусилля яблучно-сливового пюре показує руйнування незруйнованої структури й утворення нової, що відбувається згідно з рівнянням ньютонівської рідини, тобто лінійної залежності зсувного зусилля і колової швидкості.

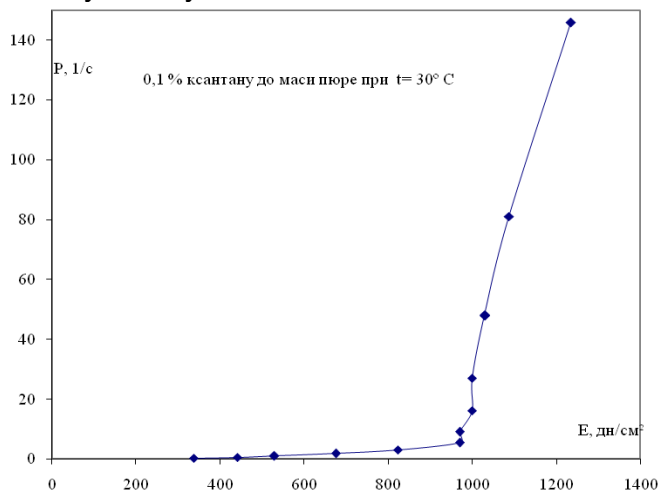


Рис. 2. Залежність колової швидкості P (1/с) від прикладеного зсувного зусилля E (дН/см²), 0,1% ксантану до маси пюре, внесеного при $t = 30^\circ\text{C}$

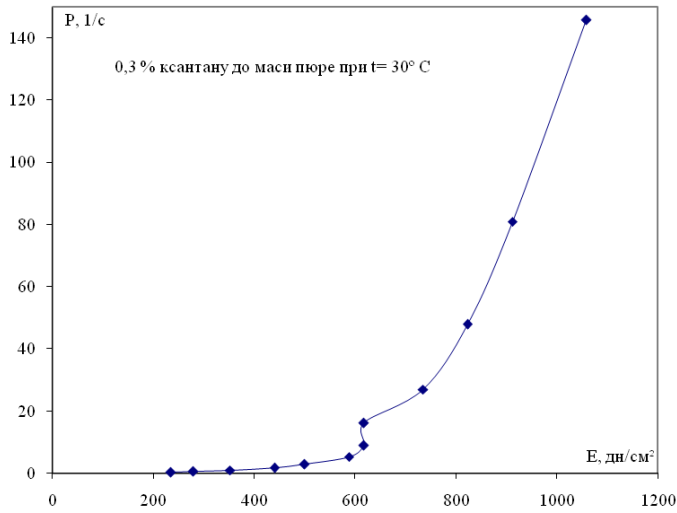


Рис. 3. Залежність колової швидкості P (1/с) від прикладеного зсувного зусилля E (дн/см^2), 0,3% ксантану до маси пюре, внесеного при $t = 30^{\circ}\text{C}$

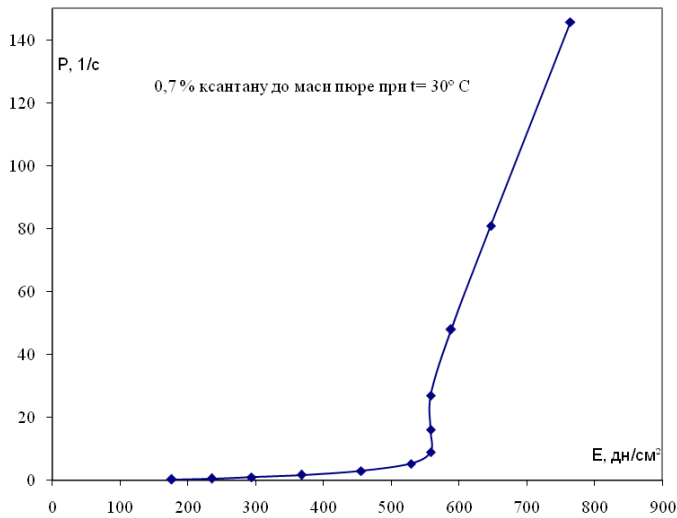


Рис. 4. Залежність колової швидкості P (1/с) від прикладеного зсувного зусилля E (дн/см^2), 0,7% ксантану до маси пюре, внесеного при $t = 30^{\circ}\text{C}$

Результати руйнування незруйнованої структури представлені в табл. 5.

Таблиця 5. Результати руйнування незруйнованої структури (аналіз рис. 1—4)

№	Зразок	Температура	P1	P2	ctg1	ctg2
1	Контрольний		500	1420	83,33	2,92
2	0,1	30	340	930	137,14	2,14
3	0,3	30	240	700	53,52	2,38
4	0,7	30	175	500	67,5	1,904

P1 — напруженість зсуву незруйнованої структури дисперсії пюре, P2 — напруженість зсуву деформованої структури дисперсії пюре

$Ctg1 = dE/dP1$ — ефективна в'язкість; (1)

$Ctg2 = dE/dP2$ — в'язкість зруйнованої структури, (2)

де dE — диференціал прикладеного зусилля; dP1 — диференціал колової швидкості незруйнованої структури; dP2 — диференціал колової швидкості зруйнованої структури.

У результаті проведених досліджень (див. графіки на рис. 1—4, а також табл. 5) встановлено, що значення прикладеного зусилля досліджуваного зразка, його фізико-хімічний стан, тобто структура зразка не змінюється, про що свідчить плавність зміни кривої на графіках. Напруженість зсуву незруйнованої структури відзначена на кривих значенням точки P1, що відображено в табл. 5.

Поступово структура під дією сили напруженості зсуву починає деформуватися до значення P2, що відображено в табл. 5.

Проаналізувавши графіки пюре з яблук і сушених слив з додаванням ксантану 0,1%, 0,3% та 0,7% до маси пюре при температурі 30 °С, можемо зробити висновок, що найкращі результати отримали при внесенні 0,1% полісахариду ксантану при температурі 30 °С. Розраховане значення $ctg1 = 137$ показує, що незруйнована структура при прикладеному зусиллі на 65 % більш стійка порівняно з контрольним зразком. Це пояснюється наявністю коагуляційної структури, що утворюється в результаті зчеплення часток ван-дер-ваальсовими силами, хоча сама структура за рахунок тонких прошарків у ділянках зчеплення елементів коагуляційної сітки не надає можливості зближення часточок. І саме внесення 0,1% полісахариду ксантану при $t = 30$ °С надає міцності досліджуваній структурі пюре. Результати руйнування незруйнованої структури представлені в табл. 5 значеннями $ctg1$.

Також проведено дослідження внесення полісахариду ксантану при температурі 40 °С. Графіки залежності колової швидкості від прикладеного зсувного зусилля при $t = 40$ °С наведено на рис. 5 та 6. Контрольний зразок при усіх температурах матиме однакові характеристики.

Проаналізувавши графіки, зображені на рис. 5 та 6, встановили, що зразок із внесеним полісахаридом ксантаном у кількості 0,1% до маси пюре має найкращі властивості. Розраховане значення $ctg1 = 136$ показує, що незруйнована структура при прикладеному зусиллі на 62% більш стійка порівняно з контрольним зразком. При внесенні 0,3% ксантану до маси пюре при температурі 40 °С розраховане значення $ctg1 = 75$ %, що на 10% менше порівняно з контрольним зразком. Тобто структурно-в'язкісна характеристика зразка з вмістом 0,3% ксантану, внесеного при температурі 40° С, буде мати погіршені властивості порівняно з контрольним зразком. Результати представлені в табл. 6.

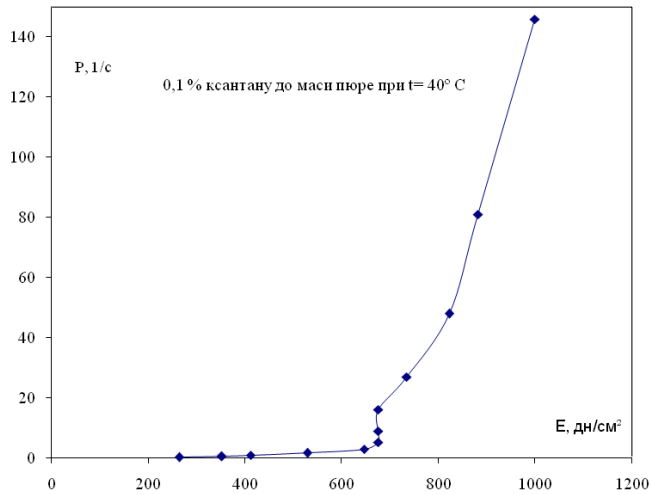


Рис. 5. Залежність колової швидкості P (1/с) від прикладеного зсувного зусилля E (дН/см²), 0,1% ксантану до маси пюре, внесеного при $t = 40^\circ\text{C}$

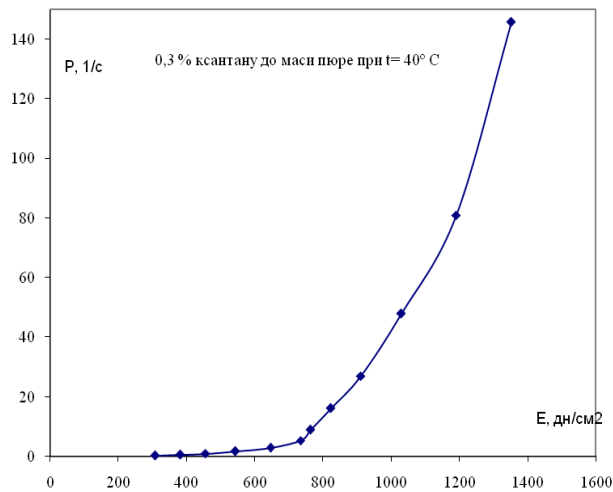


Рис. 6. Залежність колової швидкості P (1/с) від прикладеного зсувного зусилля E (дН/см²), 0,3% ксантану до маси пюре, внесеного при $t = 40^\circ\text{C}$

Таблиця 6. Результати руйнування незруйнованої структури (аналіз рис. 5, 6)

№	Зразок	Температура	P1	P2	ctg1	ctg2
1	Контрольний		500	1420	83,33	2,92
2	0,1	40	260	740	136	1,7
3	0,3	40	300	800	75	3,73

Проведено дослідження із внесенням полісахариду ксантану в кількості 0,1%, 0,3% та 0,7% до маси до пюре при температурі внесення 50°C . Графіки залежності колової швидкості від прикладеного зсувного зусилля наведено на рис. 9—11.

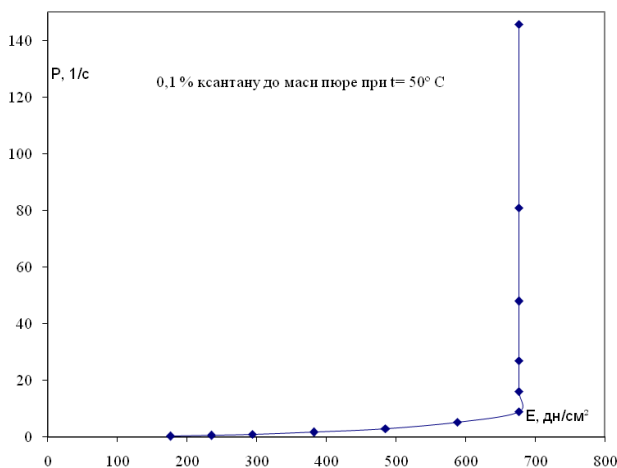
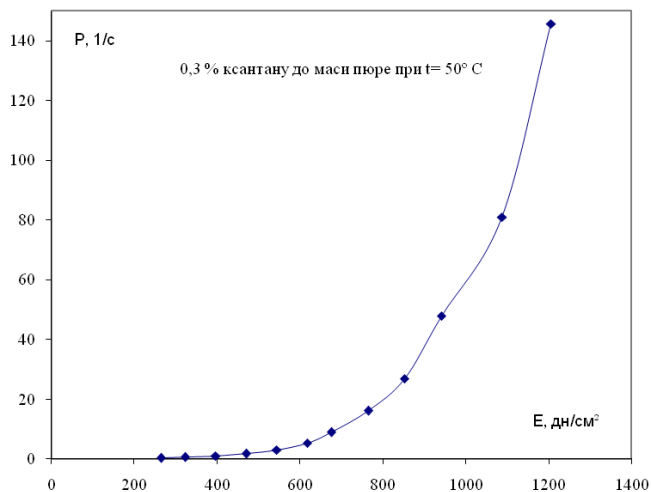


Рис. 7. Залежність колової швидкості P (1/с) від прикладеного зсувного зусилля E (дН/см²), 0,1% ксантану до маси пюре, внесеного при $t = 50^{\circ}\text{C}$

Проаналізувавши графіки, зображені на рис. 7—9, із внесенням ксантану 0,1%, 0,3% та 0,7% до маси пюре при температурі 50°C , отримали менші значення показника $stg1$ порівняно з контрольним зразком. Ці показники представлені в табл. 7. Так, значення показника $stg1$ при внесенні 0,1% ксантану зменшилось на 6%, якщо порівняти з контрольним. При внесенні 0,3% ксантану — на 27%. При додаванні 0,7% — значення показника $stg1$ зменшилось майже на 50% порівняно із значенням контрольного зразка. Аналізуючи графіки 7—9, можна зробити висновок, що незруйнована структура при прикладеному зусиллі менш стійка порівняно з контрольним зразком, відповідно, погіршились структурно-в'язкісні характеристики зразків з внесенням 0,1%, 0,3% та 0,7% до маси пюре при $t = 50^{\circ}\text{C}$.



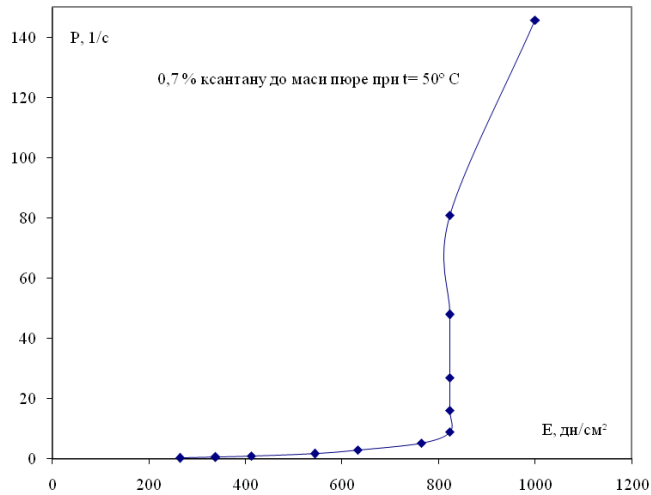


Рис. 9. Залежність колової швидкості P (1/с) від прикладеного зсувного зусилля E (дн/см²), 0,7% ксантану до маси пюре внесеного при $t = 50^\circ \text{C}$

Таблиця 7. Результати руйнування незруйнованої структури (аналіз рис. 7—9)

№	Зразок	Температура	P1	P2	ctg1	ctg2
1	Контрольний		500	1420	83,33	2,92
2	0,1	50	200	680	78,57	0
3	0,3	50	260	820	61,17	2,65
4	0,7	50	260	630	43,8	2,57

Проведені дослідження залежності колової швидкості від прикладеного зсувного зусилля при додаванні ксантану у кількості 0,1%, 0,3%, та 0,7% до пюре з яблук та сушених слив при температурі внесення $t = 60^\circ \text{C}$ наведені на рис. 10—12.

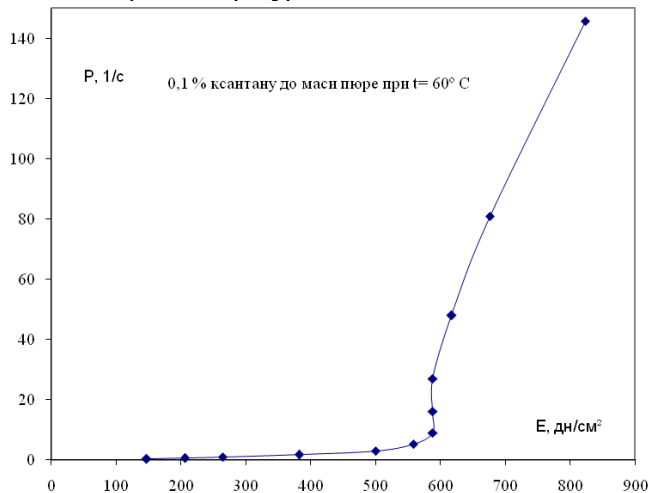


Рис. 10. Залежність колової швидкості P (1/с) від прикладеного зсувного зусилля E (дн/см²), 0,1% ксантану до маси пюре, внесеного при $t = 60^\circ \text{C}$

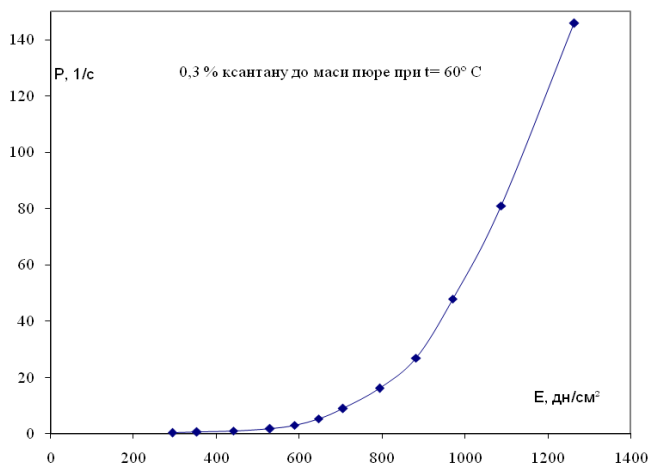


Рис. 11. Залежність колової швидкості P (1/с) від прикладеного зсувного зусилля E (дН/см²), 0,3% ксантану до маси пюре, внесеного при $t = 60^\circ\text{C}$

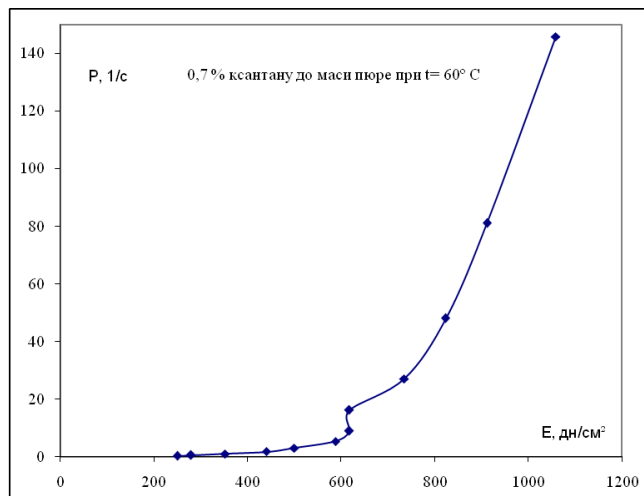


Рис. 12. Залежність колової швидкості P (1/с) від прикладеного зсувного зусилля E (дН/см²), 0,7% ксантану до маси пюре, внесеного при $t = 60^\circ\text{C}$

З графіків, наведених на рис. 10—12, видно, що пюре із яблук і сушених слив з додаванням полісахариду ксантану 0,1%, 0,3% та 0,7% до маси пюре при $t = 60^\circ\text{C}$ отримали менші значення показника $stg1$ порівняно із значенням показника контрольного зразка. Ці показники представлені в табл. 8. Так, значення показника $stg1$ при внесенні 0,1% ксантану зменшилось на 47% порівняно з контрольним. При внесенні 0,3% ксантану — на 26%. При додаванні 0,7% — значення показника $stg1$ зменшилось на 40% порівняно із значенням контрольного зразка. Аналізуючи графіки на рис. 10—12, можна зробити висновок, що незруйнована структура при прикладеному зусиллі менш стійка порівняно з контрольним зразком, відповідно, погіршились структурно-в'язкісні характеристики зразків з внесенням 0,1%, 0,3% та 0,7% до маси пюре при $t = 60^\circ\text{C}$.

Таблиця 8. Результати руйнування незруйнованої структури (аналіз рис. 10—12)

№	Зразок	Температура	P1	P2	ctg1	ctg2
1	Контрольний		500	1420	83,33	2,92
2	0,1	60	150	550	44,11	1,8
3	0,3	60	300	790	61,76	3,073
4	0,7	60	250	720	50	2,2

Висновки

У процесі дослідження впливу ксантану на структурно-в'язкісні характеристики плодово-овочевого пюре було вибрано найкращі рецептурні умови для виробництва максимально якісного продукту з яблук і сушених слив підвищеної біологічної цінності та покращених органолептичних властивостей.

Встановлено, що для покращення органолептичних, фізико-хімічних показників пюре з яблук і сушених слив оптимальне значення внесеного полісахариду ксантану становить 0,1% при температурі 30—40 °С.

На основі проведених досліджень встановлено, що додавання полісахариду ксантану покращує реологічні властивості на 65% порівняно з контрольним зразком, подовжує термін зберігання за рахунок збільшення вмісту СР та зміни структурно-в'язкісних характеристик продукту, покращує органолептичні показники. В майбутньому планується поглиблене вивчення застосування ксантану в харчовій промисловості.

Література

Дубініна, А. А., Овчиннікова, І. Ф., Дубініна, С. О. та ін. (2010). *Методи визначення фальсифікації товарів*. К.: Видавничий дім «Професіонал».

Івахно, О. П. (2019). Проблеми використання харчових добавок у продуктах дитячого харчування, *Довкілля та здоров'я*, 1, 29—32. [https:// doi.org/10.32402/dovkil/2019.01.029](https://doi.org/10.32402/dovkil/2019.01.029).

Личко, Н. (2008). *Технологія переробки рослинницької продукції*. К.: Колос.

Мусинов, К. М. (2007). *Технологія зберігання і переробки продукції рослинництва*. Астана: КазГАУ.

Найченко, В. М., Осадчий, О. С. (2007). *Технологія зберігання і переробки плодів та овочів з основами товарознавства*. К.: Школяр.

Осокіна, Н. М., Гайдай, Г. С (2005). *Технологія зберігання і переробки продукції рослинництва*. Умань.

Подпрятков, Г. І., Скалецька, Л. Ф., Сеньков, А. М., Хилевич, В. С. (2002). *Зберігання і переробка продукції рослинництва*. К.: Мета.

Скалецька, Л. Ф., Подпрятков Г. І. (2007). *Біохімічні зміни продукції рослинництва при її зберіганні та переробці: навч. посібник*. К.: Видавничий центр НАУ.

Токар, А. Ю., Харченко, З. М., Матенчук, Л. Ю., Войцехівський, В. І. (2020). Овочево-фруктові пюре функціонального призначення за застосування інноваційного обладнання. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського*. Серія: технічні науки. Том 31(70), ч. 2(3), 72—77. <https://doi.org/10.32838/TNU-2663-5941/2020.3-2/13>.

Фесун, Т. (2021) *Використання гідроколоїдів в харчовій промисловості*. Київ: НУХТ.

Хилевич, В. С., Сеньков, А. М. (2002). *Зберігання і переробка продукції рослинництва*. К.: Мета.

Ялпачик, Ф., Доштин, О. (2003). *Механізація переробки і зберігання плодовоовочевої продукції*. К.: Мета.

Birch, L., Savage, J. S., Ventura A. (2007). Influences on the Development of Children's Eating Behaviours: From Infancy to Adolescence. *Can J Diet Pract Res*, 68(1), s. 1—56. PMID: 19430591; PMCID: PMC2678872.

Fewtrell, M., Bronsky, J., Campoy, C., Domellöf, M., Embleton, N., Fidler Mis, N., Hojsak, I., Hulst, J. M., Indrio, F., Lapillonne, A., Molgaard, C. (2017). Complementary Feeding: A Position Paper by the European Society for Paediatric Gastroenterology, Hepatology, and Nutrition (ESPGHAN) Committee on Nutrition, *J Pediatr Gastroenterol Nutr.*, 64(1), 119—132. doi: 10.1097/MPG.0000000000001454. PMID: 28027215.

Qasem, W., Fenton, T., Frie, J. (2015). Age of introduction of first complementary feeding for infants: a systematic review, *BMC Pediatr.*, Sep. 2, 15, 107. doi: 10.1186/s12887-015-0409-5. PMID: 26328549; PMCID: PMC4557230.

Phillips, G., Williams, P. *Handbook of hydrocolloids*. (2006). Cambridge England, 273 p.

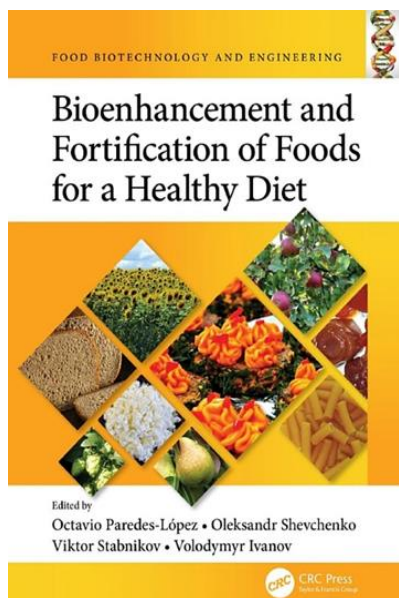
Rapson, J. P, von Hurst, P. R., Hetherington, M. M., Conlon, C. A. (2021). Impact of a «vegetables first» approach to complementary feeding on later intake and liking of vegetables in infants: a study protocol for a randomised controlled trial, *Trials.*, 22(1), 488. doi: 10.1186/s13063-021-05374-7. PMID: 34311749; PMCID: PMC8314593.

Skinner, J. D., Carruth, B. R., Bounds, W., Ziegler, P., Reidy, K. (2002). Do food-related experiences in the first 2 years of life predict dietary variety in school-aged children? *J NutrEducBehav.*, Nov-Dec, 34(6), 310—5. doi: 10.1016/s1499-4046(06)60113-9. PMID: 12556269.

Sworn, G. (2009). *Gellan gum*. In *Handbook of Hydrocolloids*. Elsevier, 204–227. doi: <https://doi.org/10.1533/9781845695873.204>

Tochkova, O., Gagan, I., Melnyk, O. (2021). Research of the rheological properties of water variances of polysaccharides, *Technology Audit and Production Reserves*, 2/3(58), 40—43. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.230077>.

**Доробок українських науковців
від видавництва CRC Press**



Авторитетне міжнародне видавництво наукової літератури **CRC Press** Taylor & Francis group видало книгу "Bioenhancement and Fortification of Foods for a Healthy Diet" (Біозбагачення харчових продуктів для оздоровчого раціону) під егідою мексиканського біохіміка та дієтолога *Октавіо Паредес-Лопеса*.

Книга присвячена пам'яті нашого колеги, провідного вченого в галузі біотехнології, професора Володимира Іванова.

Серед редакторів Книги — ректор Національного університету харчових технологій, професор *Олександр Шевченко* та завідувач кафедри біотехнології і мікробіології, професор *Віктор Стабніков*.

Авторами розділів Книги є представники:

- Національного університету харчових технологій — *Олександр Шевченко, Лариса Арсенєва, Оксана Кочубей-Литвиненко, Андрій Маринін, Василь Пасічний, Віктор Стабніков, Тетяна Пирог, Олена Стабнікова, Марія Антонюк, Світлана Літвинчук, Віра Юрчак, Олена Білик, Юлія Бондаренко, Лариса Михонік, Анастасія Шевченко, Олена Грек, Ульяна Кузьмик, Олена Онопрійчук, Алла Тимчук, Наталія Ющенко, Оксана Вашека і Оксана Петруша;*
- Української інженерно-педагогічної академії (Харків) — *Ірина Цихановська, Роман Триш, Тетяна Гонтар, Олександр Александров, Микола Рябчиков, Тетяна Лазарєва, Анастасія Нікуліна і Ольга Благій;*
- Державного біотехнологічного університету (Харків) — *Вікторія Євлаш, Микола Погужих, Олена Аксьонова і Сергій Губський;*
- Інституту сільського господарства Полісся Національної академії аграрних наук України (Житомир) — *Лідія Проценко, Сергій Рижук і Анатолій Бобер;*

- Інституту технічної теплофізики Національної академії наук України (Київ) – *Ніна Шаркова*.

Видання є всеосяжним набором наукових оглядів про продукти харчування й охоплює технологічні та поживні аспекти використання й переробки злаків, молочних продуктів, овочів і фруктів. Книга демонструє розробки в галузі харчових технологій і дає огляд сучасних знань у галузі біотехнологічної обробки та біопокращення харчових продуктів.

П'ять частин Книги присвячені хлібним і кондитерським виробам, технологіям покращення якості зернових і молочних продуктів, харчовим добавкам і новим технологічним процесам.

Книга допомагає вченим та інженерам зробити свій внесок у розроблення високоякісних харчових продуктів, і, безсумнівно, є корисною для викладачів університетів, аспірантів, здобувачів і фахівців сфери технології харчових продуктів.

Детальна інформація про Книгу — за посиланням:
<https://doi.org/10.1201/9781003225287>

ДО ВІДОМА АВТОРІВ

Шановні колеги!

Редакційна колегія журналу «Наукові праці Національного університету харчових технологій» запрошує вас до публікації наукових праць (<http://sw.nuft.edu.ua>).

До друку приймаються рукописи, які раніше не були опубліковані в друкованих та електронних виданнях. Автор, який подає матеріали до друку, зберігає за собою всі авторські права та надає відповідному виданню право першої публікації, дозволяючи розповсюджувати матеріал із зазначенням авторства й джерела первинної публікації, а також погоджується на розміщення її електронної версії на сайті Національної бібліотеки ім. В. І. Вернадського та у відкритому доступі в електронній мережі університету. Автор надає право редакційній колегії на рецензування та відхилення поданих для опублікування матеріалів. В одному номері може бути видана лише одна стаття автора (як власна, так і в співавторстві).

На електронну адресу журналу (prnuht@ukr.net) необхідно надіслати такі документи:

- файл статті;
- рецензію доктора наук певної галузі (за тематичною спрямованістю статті). Якщо один із авторів статті є доктором наук, то рецензія необов'язкова;
- заяву з підписами автора(-ів) про те, що надіслана стаття раніше не друкувалася і не подана до будь-яких інших видань;
- витяг з протоколу засідання кафедри (підрозділу) з рекомендацією роботи до друку.

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

Статті подаються у вигляді вичитаних роздрукувань на папері формату A4 (поля з усіх сторін по 2 см, Time New Roman, кегль 14, інтервал 1,5) та електронної версії (редактор Microsoft Word). У тексті статті не повинно бути порожніх рядків. Між словами допускається лише один пробіл. Усі сторінки тексту мають бути пронумеровані.

Обсяг дослідницької статті має бути не менше 10 сторінок (без урахування анотацій та списку використаних джерел). У дослідницькій статті має бути проаналізовано не менше 15 джерел. Обсяг оглядової статті має бути не менше 25 сторінок (без урахування анотацій та списку використаних джерел). В оглядовій статті повинно бути проаналізовано не менше 40 джерел.

ПОСЛІДОВНІСТЬ СТРУКТУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СТАТТІ

1. Індекс УДК.
2. Назва статті (англійською та українською мовами).
3. Ініціали та прізвища авторів англійською та українською мовами.
4. Анотація англійською та українською мовами (не менше 1800 символів з пробілами). Анотація має бути максимально інформативною, це окремий текстовий документ, у якому лаконічно викладені результати дослідження. У тексті анотації не варто використовувати загальні фрази, вказувати несуттєві деталі й загальновідомі положення. Також слід уникати прямих повторів будь-яких фрагментів статті.
5. Ключові слова (5—6 слів/ключових словосполучень англійською та українською мовами).
6. Структура текстової частини:
 - постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з важливими практичними завданнями;
 - аналіз останніх досліджень і публікацій, на які спирається автор;
 - формулювання мети статті;
 - викладення основних результатів дослідження;
 - висновки і перспективи подальших наукових досліджень.
7. Після тексту статті в алфавітному порядку наводиться список літературних. **Бібліографічні описи оформляються згідно з міжнародним стилем APA.** Бібліографічний опис подається мовою видання. Не допускається посилання на неопубліковані матеріали. У переліку джерел мають переважати посилання на наукові праці останніх років. Наприкінці кожної публікації наводиться ідентифікатор DOI у форматі <https://doi.org/.....>, якщо він є, або посилання на публікацію. Також слід обмежити посилання на власні публікації, оскільки це знижує наукову цінність статті та індекс цитування автора. Не можна посилатись на національні стандарти, технічні умови, підручники, конспекти лекцій, лабораторні практикуми та іншу ненаукову літературу. Посилання на патенти слід робити в тексті статті, вказавши лише номер та назву патенту.

У статті мають бути проаналізовані напрацювання вчених з усього світу. На основі аналізу сучасних статей з англомовних журналів має бути доведена актуальність теми у світі, визначені питання, які потребують вирішення, сформульована мета дослідження.

8. Таблиці (у Word або Excel) можна подавати як у тексті, так і в окремих файлах (на окремих сторінках). Кожна таблиця повинна мати тематичний заголовок, набраний напівжирним шрифтом, і порядковий номер (без знака №), якщо таблиць кілька. Слово «Таблиця» і номер друкуються курсивом, заголовок — напівжирним шрифтом. Таблиці повинні мати книжковий формат і вільно вміщатися у висоту і ширину журнальної сторінки.

9. Ілюстрації (креслення, рисунки, схеми, діаграми) мають бути розміщені в тексті. **Обов'язковою вимогою** є надсилання оригінальних файлів рисунків, створених у програмах-редакторах Corel Draw X6, Origin. Всі елементи рисунка (типи, товщина і колір ліній, шрифт текстів тощо) мають вільно редагуватися у наявному програмному забезпеченні. Рисунки в растрових форматах (bmp, gif, jpeg, tif) або у форматі pdf не приймаються до розгляду, оскільки не можуть вільно редагуватися. **Вимоги до оформлення рисунків:** вісь координат — 0,2 мм, без сітки, сам рисунок (наприклад, крива) — 0,35 мм, текст в рисунку — Times New Roman 9,5, ширина рисунка — до 13 см. Всі рисунки мають бути чорно-білими. Підписи до рисунків набираються безпосередньо під рисунками прямим напівжирним шрифтом.

Фотографії мають бути чіткими та контрастними (формати TIF, JPG з роздільною здатністю 300 dpi), розмірами 6×9. Фотографії друкуються в разі крайньої потреби, якщо наведена на них інформація має значну наукову цінність. Авторам краще завантажити фотографії у хмарний сервіс і в списку літератури дати на них посилання.

10. Математичні формули повинні бути роздруковані з правильним виділенням верхніх і нижніх індексів. Нумерація формул здійснюється арабськими цифрами у круглих дужках біля правого поля сторінки. Індеси від скорочених українських слів друкуються прямим шрифтом малими літерами. В індексах, що складаються з двох скорочених слів, після першого скороченого слова ставиться крапка, після другого — крапка не ставиться. Цифри в індексах також друкуються прямим шрифтом. Індеси, позначені латинськими літерами, друкуються курсивом. У формулах літери латинського алфавіту набираються курсивом, грецького й українського — прямим шрифтом.

Хімічні формули набираються прямим шрифтом. Математичні символи, що входять до складу хімічних формул, — курсивом.

Формули вставляються безпосередньо в текст. Прості формули набираються з клавіатури, а складні — за допомогою редактора формул Microsoft Equation 3.0 object або Math Type 5,6. Інші версії редакторів формул є неприйнятними. Символи вставляються тільки через таблицю символів. Скорочення позначень одиниць фізичних величин мають відповідати Міжнародній системі одиниць (SI).

11. Відомості про авторів статті повинні бути наведені за єдиним зразком у вказаному порядку: прізвище (прописними літерами), ім'я та ім'я по батькові (повністю); наукове звання; посада чи професія, місце роботи; телефон, E-mail.

12. Дата надходження статті до редакції (після тексту надрукованого матеріалу).

Використання автоматичного перекладу наукового тексту (статті, анотації, ключових слів) **не допускається**. Переклад має бути належної якості.

Відсутність будь-якого з пунктів переліку, зазначеного вище, рецензії, невідповідність вимогам до оформлення, наявність орфографічних, граматичних, стилістичних помилок, автоматичний переклад елементів матеріалу є підставою **для відмови** в прийнятті статті до друку.

Автор несе відповідальність за додержання вимог чинного законодавства при підготовці матеріалів, у тому числі норм авторського права і достовірність наведених фактичних даних (цитат, посилань, імен, назв тощо).

Адреса редакції:

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

Контактні телефони: міський — (044) 287-92-95, внутрішній — 92-95.

E-mail: npnuht@ukr.net

SUBMISSION GUIDELINES

Dear colleagues,

The editorial board of the Journal “Scientific works of the National University of Food Technologies” invites you to the publication of your manuscripts (<http://sw.nuft.edu.ua>).

Only the manuscripts that have not previously been published in print and electronic media are accepted. The author who submits materials for publication reserves the copyright and provides the right of first publication to the Journal, allows to distribute the manuscript indicating the authorship and the primary source of publication and agrees to placing the electronic version of the manuscript on the website of the *V. I. Vernadsky National Library* of Ukraine, publicly available electronic network of the University. The author gives the right to the editorial board to review and reject the material submitted for publication. The author can publish one manuscript (of his/her single authorship or co-authored) per every issue of the Journal.

The following documents are necessary to be sent to the e-mail address of the journal (npuht@ukr.net):

- Electronic version of the manuscript;
- A review of the manuscript by a doctorate of the corresponding branch of science. If one of the authors is a doctorate him/herself, then a review is not necessary;
- A statement signed by the author(s) that the manuscript has not been published and is not submitted for publication;
- Extract from the minutes of the department / unit of the organization confirming that the manuscript is recommended 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