



2021

НАУКОВІ ПРАЦІ

НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Том 27 № 5

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

КИЇВ ✦ НУХТ ✦ 2021

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:

- EBSCOhost
- Google Scholar

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

Editorial office address:

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

Recommended for publication by the Academic Council of the National University of Food Technologies. Minutes of meeting # 3 from 28th of October, 2021

© NUFT, 2021

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:

- 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 № 3 від 28 жовтня 2021 року

© НУХТ, 2021

Редакційна колегія

Склад редакційної колегії журналу

«Наукові праці Національного університету харчових технологій»

Головний редактор

Editor-in-Chief

Олександр Шевченко

Oleksandr Shevchenko

д-р техн. наук, проф., Україна

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

Відповідальний секретар

Accountable secretary

Анастасія Шевченко

Anastasiia Shevchenko

канд. техн. наук, доц., Україна

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

Члени редакційної колегії:

Агота Гедре Райшене

Agota Giedre Raisiene

д-р екон. наук, Литва

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

Атанаска Тенева

Atanaska Teneva

д-р екон. наук, доц., Болгарія

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

Анатолій 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 Поліщук Halyna Polishchuk	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Герхард Шльонінг Gerhard Schleining	д-р техн. наук, Австрія Ph. D. Hab., Prof., University of Natural Resources, Austria
Дайва Лескаускайте Daiva Leskauskaitė	д-р техн. наук, проф., Литва Ph. D. Hab., Prof., Kaunas University of Technology, Lithuania
Ірина Штулер Iryna Shtuler	д-р екон. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National academy of management
Кристина Сильва Cristina L. M. Silva	д-р техн. наук, проф., Португалія Ph. D. Hab., Prof., University de Catolica, Portuguesa
Лада Шірінян Lada Shirinyan	д-р екон. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Лариса Арсенєва Larisa Arsenyeva	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Наталія Луцька Nataliia Lutska	канд. техн. наук, доц., Україна Ph. D., As. Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Олександр Бутнік-Сіверський Oleksandr Butnik-Siverskyi	д-р екон. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Олександр Гавва Oleksandr Gavva	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Олександр Кургаєв Oleksandr Kurgaev	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Олена Дерев'янюк 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 Літвінчук Svitlana Lityvnychuk	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

Безпека харчових продуктів і охорона праці

Мельник О. П., Радзівєвська І. Г. Впровадження належної виробничої практики у косметичній галузі України

Біотехнології

Данилкович А. Г., Лицук В. І., Сангінова О. В. Полімерні композиції для формування покриття на шкірах

Стапай П. В., Стахів Н. П., Смолянінова О. О., Грабовська О. С., Тютюнник О. С. Сульфурвмісні сполуки вовни і їх роль у процесах вовноутворення та формуванні фізико-хімічних властивостей волокон

Механічна та електрична інженерія

Булій Ю. В., Куц А. М., Форсюк А. В., Чумаченко С. М. Енергозберігаюча технологія ректифікації з контрольованими циклами масообміну між рідиною і паром

Черевко О. І., Михайлов В. М., Загорулько А. М., Загорулько О. Є. Удосконалення тепломасообмінного обладнання переробки рослинної сировини

Авдєєва Л. Ю., Макаренко А. А., Жукотський Е. К., Павлік В. Ю. Дослідження масообмінних процесів при екстрагуванні квіток календули лікарської

Большак Ю. В., Маринін А. І., Святненко Р. С., Шпак В. В. Біоелектроніка і закономірності набуття оздоровчих властивостей питною водою, збагаченою молекулами водню

Недбайло О. М., Степанова О. Є., Сильнягіна Н. Б. Інтенсифікація теплообмінних процесів при термоконтактному нагріванні та плавленні жирів і олій

Харчові технології

Кузьмик У. Г., Басс О. О., Юценко Н. М., Махмудов А. М., Миколай І. М. Обґрунтування тривалості сквашування молочної суміші в технології кисломолочних десертів

Юкало В. Г., Дацишин К. Є., Сторож Л. А., Семенишин Г. М. Технологія пасти сиркової з гідролізатом білків сироватки молока

Галенко О. О., Кравчук В. В., Медяник М. О., Горбач О. Я. Дослідження біологічної та харчової цінності борошна з насіння гарбуза для використання в технології шинок із м'яса індички

Белінська К. О., Фалендись Н. О. Дослідження змін сухих молочно-борошняних каш для дитячого харчування в процесі їх зберігання

Дробот В. І., Шевченко А. О., Літвинчук С. І. Вплив рисового борошна на структурно-механічні властивості тіста та якість хліба

CONTENTS

Food Products Safety and Occupational Health

7 *Melnyk O., Radzievska I.* Prospects of implementation of good manufacturing practice in the cosmetic industry in Ukraine

Biotechnologies

13 *Danylkovych A., Lishchuk V., Sanginova O.* Polymer compositions for forming leather covering

21 *Stapaj P., Stakhiv N., Smolianinova O., Grabovska O., Tyutyunyk O.* Sulfur-containing compounds of wool and their role in the processes of wool growth and the formation of physicochemical properties of fibers

Mechanical and Electrical Engineering

33 *Buliy Y., Kuts A., Forsiuk A., Chumachenko S.* Energy-saving rectification technology with controlled mass exchange cycles between liquid and vapour

43 *Cherevko O., Mykhaylov V., Zahorulko A., Zagorulko O.* Improvement of heat and mass exchange equipment for vegetable processing

52 *Avdieieva L., Makarenko A., Zhukotskyi E., Pavlik V.* Study of mass transfer processes during the *Calendula officinalis* flowers extraction

57 *Bolshak Y., Marynin A., Svyatnenko R., Shpak V.* Bioelectronics and regularities of acquisition of health properties with drinking water enriched with hydrogen molecules

67 *Nedbailo A., Stepanova O., Silnyagina N.* Intensification of heat exchange processes during thermal contact heating and melting of fats and oils

Food Technologies

81 *Kuzmyk U., Bass O., Yushchenko N., Makhmudov A., Mukoliv I.* Justification of the duration of fermentation of milk mixture in technology of sour milk desserts

90 *Yukalo V., Datsyshyn K., Storozh L., Semenyshyn G.* Technology of curd paste with whey proteins hydrolysate

99 *Galenko O., Kravchuk V., Medianyuk M., Gorbach O.* Research of biological and nutritional value of pumpkin seed flour for use in technology of turkey meat ham

108 *Belinska K., Falendysh N.* Research of changes of dry milk and flour porridges for baby nutrition in the process of their storage

114 *Drobot V., Shevchenko A., Litynychuk S.* Influence of rice flour on structural and mechanical properties of dough and bread quality

- Сімахіна Г. О., Межубовський О. М., Науменко Н. В.* Створення композицій радіопротекторної дії для захисту організму людини від малих доз іонізуючої радіації
- Кочубей-Литвиненко О. В., Лопатко К. Г.* Нанобіотехнологічні основи спрямованого збагачення молочної сироватки мінеральними елементами
- Бералієва Е. Б., Козикан С., Паска М. З., Павленчик Н. Ф.* Підвищення харчової цінності макаронних виробів при використанні зернобобових культур
- Олійник С. Г., Самохвалова О. В., Лапницька Н. В.* Вплив шротів зародків вівса і плодів шипшини на зміну показників якості житнього-пшеничного хліба під час зберігання
- Пасічний В. М., Хорунжа Т. О., Фурсік О. П., Рудюк В. П.* Дослідження стабільності показників плодових емульсійних соусів з використанням сухої молочної сироватки та пірогенного кремнезему
- 123 *Simakhina G., Mezhubovsky O., Naumenko N.* Creating the compositions with radioprotective action to protect the human organism from low doses of ionizing radiation
- 134 *Kochubei-Lytvynenko O., Lopatko K.* Nanobiotechnological basics of the targeted enrichment of whey with mineral elements
- 148 *Beraliyeva E., Kozykan S., Paska M., Pavlenchuk N.* Increasing the nutritional value of pasta by using leguminous crops
- 154 *Oliinyk S., Samokhvalova O., Lapitskaya N.* Effect of rosehip meal and oat germ meal on change of quality indices of rye-wheat bread during storage
- 162 *Pasichnyi V., Khorunzha T., Fursik O., Rudiuk V.* Study of stability of indicators of fruit emulsion sauces using dry whey and pyrogenic silicon

PROSPECTS OF IMPLEMENTATION OF GOOD MANUFACTURING PRACTICE IN THE COSMETIC INDUSTRY IN UKRAINE

O. Melnyk, I. Radziewska

National University of Food Technologies

Key words:

*Cosmetic product
Safety
Good manufacturing
practice
Standard*

Article history:

Received 01.09.2021
Received in revised form
13.09.2021
Accepted 28.09.2021

Corresponding author:

O. Melnyk

E-mail:

ksaname@gmail.com

ABSTRACT

The ukrainian cosmetics industry does not have modern regulatory and technical support, which causes a lack of proper control and stagnation of production. The non-transparency of trade rules in this area contributes to the chaotic distribution of any brands and counterfeit products. This is, in particular, due to outdated norms and requirements of current legislation.

Therefore, the urgent need today is the introduction of Technical Regulations aimed at improving the safety of cosmetic products in Ukraine and harmonization of technical regulation of cosmetic products with European legislation, removal of legal, administrative and technical barriers to trade with the European Union.

The Technical Regulation requires all cosmetic products placed at the ukrainian market to comply with the rules of good manufacturing practice established in the standard DSTU ISO 22716:2015 “Cosmetics. Good Manufacturing Practices (GMP). Guidelines on Good Manufacturing Practices”.

This standard was prepared in cooperation with the relevant Association and promotes best practices in the industry. The scope of the standard is not limited to production activities, it also includes physico-chemical and clinical research, storage and sale, compliance, legal advice and product labeling.

The main provisions of the international standard DSTU ISO 22716:2015 “Cosmetics. Good Manufacturing Practices (GMP). Guidelines on Good Manufacturing Practices” are analyzed in the article. The benefits of implementing good manufacturing practices for manufacturers and consumers of cosmetic products are shown.

The process of verifying compliance with the GMP standard was described. It takes the manufacturer about two years, when the whole company provides internal documents, including information about raw materials, equipment, sales agreements, and employees take exams for professional suitability.

ВПРОВАДЖЕННЯ НАЛЕЖНОЇ ВИРОБНИЧОЇ ПРАКТИКИ У КОСМЕТИЧНІЙ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ

О. П. Мельник, І. Г. Радзівська

Національний університет харчових технологій

Українська косметична галузь не має сучасного нормативно-технічного забезпечення, що провокує відсутність належного контролю та застій розвитку виробництва. Непрозорість правил торгівлі у цій галузі спричиняє хаотичне поширення будь-яких брендів і фальсифікованої продукції. Це, зокрема, зумовлено і застарілими нормами та вимогами чинного законодавства, тому нагальною потребою сьогодення є введення в дію Технічного регламенту, що спрямований на підвищення безпечності косметичної продукції в Україні та гармонізацію технічного регулювання косметичної продукції з європейським законодавством, усунення юридичних, адміністративних і технічних бар'єрів у торгівлі з країнами Європейського Союзу.

Технічний регламент вимагає, щоб усі косметичні продукти, що розміщуються на українському ринку, відповідали правилам належної виробничої практики, встановленим у стандарті ДСТУ ISO 22716:2015 «Косметика. Належна виробнича практика (GMP). Настанови з належної виробничої практики».

Цей стандарт був підготовлений у співпраці з профільною Асоціацією та пропагує найкращі практики галузі. Сфера дії стандарту не обмежується виробничою діяльністю, він також включає фізико-хімічні та клінічні дослідження, зберігання та реалізацію, дотримання законодавчих норм, юридичні консультації та маркування продукції.

У статті проаналізовано основні положення міжнародного стандарту ДСТУ ISO 22716:2015 «Косметика. Належна виробнича практика (GMP). Настанови з належної виробничої практики» та показано переваги впровадження належної виробничої практики для виробників і споживачів косметичної продукції.

Описано процес підтвердження відповідності стандарту GMP, що займає у виробника близько двох років, коли все підприємство надає внутрішні документи, які включають інформацію про сировину, обладнання, угоди купівлі-продажу, а співробітники складають іспити на професійну придатність.

Ключові слова: косметичний продукт, безпечність, належна виробнича практика, стандарт.

Постановка проблеми. Косметичний догляд не є предметом розкоші, а повсякденною необхідністю для цивілізованого життя, тому що людині будь-якого віку властиве бажання бути охайною і гарно виглядати. Призначення косметики — надати шкірі обличчя та рук, зубам, волоссю і нігтям привабливого вигляду, сповільнити процес старіння.

Сучасний ринок косметичної продукції в Україні динамічно розвивається (Добровольський, 2018), проте аналіз чинного законодавства у сфері обігу косметичної продукції виявив нагальну потребу в удосконаленні нормативно-правової бази щодо регулювання обігу косметичної продукції.

Наразі в Україні відсутні регламентовані вимоги до інгредієнтів косметичної продукції (заборона, обмеження, дозвіл на використання барвників, консервантів, УФ-фільтрів і наноматеріалів), хімічний склад косметичної продукції важко дослідити та проаналізувати через велику кількість компонентів, складність хімічних процесів і застарілість методів випробувань.

З цією метою Міністерством охорони здоров'я України розроблено Технічний регламент, відповідно до Регламенту ЄС № 1223/2009 на косметичну продукцію, що набере чинності в серпні 2022 року.

Технічний регламент вимагає, щоб усі косметичні продукти, які розміщуються на українському ринку, відповідали правилам належної виробничої практики, встановленим стандартом ДСТУ ISO 22716:2015 «Косметика. Належна виробнича практика (GMP). Настанови з належної виробничої практики».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У публікаціях (Байцар & Кордіяка, 2015) проаналізовано особливості обігу косметичної продукції на вітчизняному ринку та проблему боротьби із фальсифікованими товарами, досліджено стан нормативної бази з якості та безпеки косметичних засобів і перспективи її гармонізації відповідно до вимог європейського законодавства. Правовому регулюванню ринку косметологічних послуг присвячено працю (Чеховська & Білоусюк, 2019). У статті (Теремецький & Садовенко, 2020) проаналізовано основні адміністративно-правові засоби (стандартизація, сертифікація косметичної продукції) впливу на ринок косметологічних послуг і розроблено пропозиції щодо удосконалення вітчизняного законодавства у досліджуваній сфері.

Мета дослідження: проаналізувати основні положення міжнародного стандарту ДСТУ ISO 22716:2015 «Косметика. Належна виробнича практика (GMP). Настанови з належної виробничої практики» та показати переваги впровадження належної виробничої практики для виробників і споживачів косметичної продукції.

Матеріали і методи. Використано методи аналізу, порівняння та узагальнення. Інформаційною базою дослідження були праці вітчизняних і зарубіжних вчених, опубліковані у періодичних виданнях, та нормативно-правові документи.

Викладення основних результатів дослідження. Належна виробнича практика в галузі косметики висуває дуже високі вимоги щодо забезпечення безпеки споживачів. Відповідно до цих вимог, уся косметична продукція, що пропонується споживачам, повинна вироблятися відповідно до належних косметичних практик виробництва, включених до стандарту ISO 22716.

Мета GMP полягає в мінімізації мікробіологічних, фізичних і хімічних небезпек під час виробництва, транспортування та реалізації косметичної продукції. На безпечність косметичної продукції впливають: склад, якість сировини, технологічний процес, фасування і пакування, умови зберігання та продажу,

умови споживання, тому компанії-виробники, дистриб'ютори, компанії-імпортери, експортні компанії, тобто всі учасники цього ланцюжка, беруть на себе нові обов'язки за стандартом ISO 22716 (Uckaya, Uckaya & Demir, 2016; Engasser, Long & Grey, 2007).

Стандарт ISO 22716 охоплює виробництво, зберігання, упаковку, процеси тестування й транспортування, дослідження і розробку, дистрибуцію готової косметики, безпеку робітників, захист навколишнього середовища.

Одним із положень стандарту є внутрішній аудит — систематична й незалежна експертиза, проведена компетентним персоналом всередині компанії, метою якої є визначення того, чи відповідають заходи, зазначені вище, справжнім керівним принципам і наскільки вони ефективно застосовуються для досягнення цілей.

Усі зауваження, зроблені під час внутрішнього аудиту, оцінюються комісією GMP і надаються керівництву, відділу контролю якості та персоналу лабораторії для здійснення корегувальних дій.

При веденні документації на підприємстві записи повинні містити докладний опис операцій, процедур, відхилень від процедур, обґрунтувань, інструкцій (включаючи навчання), специфікацій, протоколів, звітів, методів, виправлень та інших заходів, пов'язаних з GMP. Ці записи можуть включати відомості про походження, експертизу, тестування, утилізацію та використання косметичної продукції. Виробник повинен вести записи контролю серійного виробництва, що включає: документацію всіх інгредієнтів (назва, код, номер партії, кількість тощо), документацію всіх етапів виробництва (наприклад, обробка, переміщення, зберігання), кожен крок з відбору та контролю процесу виробництва, контролю готової продукції.

Згідно із стандартом виробник косметики зобов'язаний дотримуватися правил для обладнання: підтримання в чистому і впорядкованому стані, дезінфекція в належний час, регулярні калібрування або перевірка відповідно до стандартних операційних робочих процедур (документально оформлений набір інструкцій або покрокових дій, які треба здійснити, щоб виконати ту чи іншу роботу) з документально підтвердженими результатами.

Увесь персонал компанії повинен мати відповідну освіту, досвід для виконання своїх робочих обов'язків, тобто кожен співробітник, починаючи від двірника до хіміка-технолога, має повністю відповідати своїй посаді. Усі співробітники повинні перебувати під наглядом на виробництві.

Окрім того, персонал, що взаємодіє з косметичною сировиною та матеріалами у процесі виробництва, готовою продукцією, повинен бути в чистому захисному одязі: уніформа, захисні окуляри, рукавички тощо. Тільки уповноважений персонал повинен мати доступ у виробничі, складські приміщення і зони контролю. Забороняється споживати їжу та напої у безпосередній близькості від місць переробки та зберігання косметичної продукції.

Особливі вимоги висуваються і до сировини. Так, сировина повинна зберігатися і перероблятися, щоб запобігти: помилкам (наприклад, помилки при переміщенні або помилки вибору), забрудненню мікроорганізмами або іншими

хімічними речовинами і деградації під впливом надмірних зовнішніх умов (наприклад, тепла, холоду, сонячного світла, вологи тощо) Сировина має належним чином ідентифікуватися і контролюватися з метою запобігання використанню матеріалів, які не відповідають технічним умовам приймання.

Вода, яка використовується як косметичний інгредієнт, повинна бути оброблена перед використанням (наприклад, деіонізація, дистиляція або зворотний осмос), перевірятися та контролюватися регулярно, щоб відповідати всім хімічним, фізичним і мікробіологічними специфікаціям якості та безпеки.

Виробники косметичної продукції за стандартом мають використовувати тільки дозволені барвники і кольорові добавки у конкретних косметичних продуктах. Барвники і кольорові добавки, що підлягають сертифікації, повинні бути марковані номером партії, що присвоєний відділом сертифікації кольору.

Відповідно до належної виробничої практики у виробників косметичної продукції мають бути створені виробничі та контрольні стандартні робочі процедури (наприклад, склад продукції, інструкції з обробки, методи контролю у процесі виробництва, інструкції щодо упаковки, інструкції з експлуатації обладнання). Процедури повинні включати положення, що забезпечують вибір, зважування, вимірювання сировини, має бути визначене основне обладнання, лінії передачі, контейнери і цистерни, які використовуються для обробки, зберігання або наповнення, для ідентифікації партії. Мають бути розроблені відповідні заходи для запобігання зараженню мікроорганізмами, хімічними речовинами або іншими сторонніми матеріалами, виробничі засоби контролю, що забезпечують однорідність косметичного продукту, його цілісність (наприклад, вага партії), точне наповнення контейнерів для змішування й адекватність змішування, зберігання та поводження з пакувальними матеріалами, які призначені для безпосереднього контакту з косметичним продуктом.

Важливою складовою стандарту є лабораторний контроль, який включає методи збору зразків, специфікації, методи випробувань, лабораторне обладнання і кваліфікацію технічного персоналу. Сировина і готова продукція досліджується на мікробне, хімічне забруднення, ідентичність і відповідність специфікаціям (наприклад, фізичним і хімічним властивостям) тощо.

Існує ряд правил, які передбачають розгляд скарг, рекламаций і відкликів від покупців косметики з метою захисту їх здоров'я. За правилами відбувається аналіз причин невідповідностей, розробка коригувальних і запобіжних дій з виявлених невідповідностей, регулярний їх перегляд для виявлення специфічних або повторюваних проблем, що вимагають уваги і коригування.

Згідно з Технічним регламентом сертифікація косметичного виробництва в Україні не є обов'язковою вимогою, проте вона сприяє конкурентоспроможності косметичної продукції на ринку та репутації виробника, спрямовує його на підвищення якості виробництва та дотримання законодавчих норм.

Процес сертифікації підприємства складається з чотирьох етапів. Передсертифікаційний етап включає в себе подачу заявки на сертифікацію, оцінку вартості робіт із сертифікації й укладання договору на проведення сертифікації, підготовка комплекту документів замовником і формування комісії із сертифікації.

Попередня оцінка системи менеджменту організації включає аналіз наданих відомостей і підготовку звіту. Перевірка й оцінка системи менеджменту пов'язана з попередньою взаємодією із заявником, розробкою плану аудиту та його затвердженням, розподілом обов'язків між членами комісії, підготовкою робочих документів, проведення аудитів на місці та підготовкою акта за результатами аудиту, рішення по акту про видачу (невидачу) сертифікату відповідності, оформлення договору на проведення інспекційного контролю, видачею дозволу на використання знаку відповідності.

І заключний, інспекційний контроль сертифікованих систем менеджменту організації включає плановий і позаплановий інспекційний контроль.

Висновки

Належна виробнича практика у косметичній галузі — це забезпечення якості та безпечності на всіх етапах виробництва: від моменту надходження вихідної сировини і пакувальних матеріалів на підприємство до відвантаження готової продукції на склад. Вона включає набір практичних рекомендацій, експлуатаційних правил та організаційних вказівок, зосереджуючи увагу на людських, технічних та адміністративних факторах, що впливають на якість та безпеку продукції.

Підприємства-виробники косметичної продукції сертифіковані за стандартом ISO 22716, мають такі переваги: контроль небезпек і ризиків, які можуть бути пов'язані з виробництвом косметичних продуктів, управління ланцюгами поставок, що дає змогу підприємству керувати якістю та безпекою у сфері постачання косметичних продуктів, дотримання законодавства, яке розглядається регулюючими органами в усьому світі та легка реалізація — будь-яка організація може впровадити ISO 22716, в той же час його буде зручно інтегрувати зі стандартами ISO 9001.

Література

Байцар, Р. І., Кордіяка, Ю. М. (2015). Актуальні проблеми та перспективи розвитку косметичної галузі. *Вісник національного університету «Львівська політехніка»*, 821, 44—50.

Добровольський, В. В. (2018). Оцінка ринку парфумерно-косметичних товарів. *Економіка та управління національним господарством*, 15, 120—123.

Кордіяка, Ю. М., Байцар, Р. І. (2016). Проблеми технічного регулювання косметичної галузі. *Стандартизація, сертифікація, якість*, 2, 38—44.

Теремецький, В. І., Садовенко, А. І. (2020). Стандартизація і сертифікація косметичної продукції як адміністративно-правові засоби регулювання ринку косметологічних послуг. *Вісник Академії праці, соціальних відносин і туризму*, 3—4, 114—121.

Чеховська, І. В., Білоусюк, В. В. (2019). Правове регулювання ринку косметологічних послуг: порівняльно-правовий аналіз. *Міжнародний юридичний вісник: актуальні проблеми сучасності (теорія та практика)*, 15, 101—111.

Engasser, P., Long, T., McNamee, P., Schlatter, H., Grey, J. (2007). Safety of cosmetic products. *Journal of cosmetic dermatology*. 6(1), 23—31.

Uckaya, M., Uckaya, F., Demir, N., Demir, Y. (2016). Evaluation of the efficiency and safety in cosmetic products. *International journal of pharmaceutics*, 499(1—2), 295—300.

POLYMER COMPOSITIONS FOR FORMING LEATHER COVERING

A. Danylkovych, V. Lishchuk

Kyiv National University of Technologies and Design

O. Sanginova

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

Key words:

*Polymer compositions
Semi-finished leather
product
Polyacrylates
Polyurethanes
Coating formation
Properties*

Article history:

Received 07.09.2021
Received in revised form
20.09.2021
Accepted 04.10.2021

Corresponding author:

O. Sanginova
E-mail:
olga.sanginova@
gmail.com

ABSTRACT

The entirety of physico-mechanical and physico-chemical properties of monolithic and microporous polyacrylic and polyurethane coating was studied. The decrease in the strength, elastic modulus, and microporous polyurethane tensile elongation coating in comparison with monolithic ones were 5.0—5.6; 3.1—4.5 and 1.3—1.4 times, respectively. The maximum strength and tensile elongation have coating obtained from polyurethane acrylic dispersion, which reach the tensile strength of 22 MPa and breaking stretch of 820%.

A comparative analysis of the performance properties of coating formers based on polyacrylic and polyurethane polymers revealed that the most promising compositions are water systems. Thermodynamic instability of polymer aqueous dispersions makes it possible to realize the variety of their properties and related processes of structure formation when priming a leather semi-finished product and coating formation on its surface during finishing. A correlation was established between the physical and mechanical properties of microporous and monolithic polymer coating and polyurethane and polyurethaneacrylic coatings on leather semi-finished products.

The advantages of sanitary and hygienic properties of leather with polyurethane acrylic coating over leather with polyacrylic, modified with alkylcarboxyethanolamines of natural naphthenic acids, kerosene-gas oil fraction, and polyurethane coating were established. Furthermore, polyurethane acrylic coatings are superior to polyacrylic in terms of the complex of physical and mechanical parameters, in particular in terms of adhesive strength — 2.6—4.0 times more, resistance to wet friction — 5 times more, and multiple bending — 17 times more.

Given the complex of physical, mechanical and hygienic properties of polyurethane acrylic coatings their use can be considered to be promising for the formation of resistant elastic leather materials to mechanical deformation.

ПОЛІМЕРНІ КОМПОЗИЦІЇ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ПОКРИТТЯ НА ШКІРАХ

А. Г. Данилкович, В. І. Ліщук

Київський національний університет технологій та дизайну

О. В. Сангінова

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

У статті досліджено комплекс фізико-механічних і фізико-хімічних властивостей монолітних та мікропористих поліакрилових і поліуретанових плівок. Встановлено зниження границі міцності, модуля еластичності та розривного подовження мікропористих поліуретанових плівок порівняно з монолітними відповідно в 5,0—5,6; 3,1—4,5 і 1,3—1,4 рази. При цьому найбільшою міцністю і розривним подовженням характеризуються плівки, отримані з поліуретанакрилової дисперсії, які досягають границі міцності 22 МПа та подовження при розриванні 820%.

Порівняльний аналіз результатів дослідження експлуатаційних властивостей плівкоутворювачів на основі поліакрилових і поліуретанових полімерів дав змогу встановити, що найперспективнішими композиціями є водні системи. Термодинамічна нестійкість водних дисперсій полімерів надає можливість реалізувати різноманітність їх властивостей і пов'язаних з ними процесів структуриування при ґрунтуванні шкіряного напівфабрикату та плівкоутворенні на його поверхні при оздобленні. Встановлено кореляцію між фізико-механічними властивостями мікропористих і монолітних полімерних плівок та поліуретанових і поліуретанакрилових покриттів на шкіряному напівфабрикаті.

Визначено переваги санітарно-гігієнічних властивостей шкір з поліуретанакриловим покриттям перед шкірами з поліакриловим, модифікованим алкілкарбокситанолами природних нафтенних кислот гасово-газоїлової фракції і поліуретановим покриттям. Водночас поліуретанакрилові покриття переважають поліакрилові за комплексом фізико-механічних показників, зокрема за адгезійною міцністю в 2,6—4,0 рази, стійкістю до мокрого тертя в 5 разів, багаторазовим вигином більш ніж у 17 разів.

Враховуючи комплекс фізико-механічних і гігієнічних властивостей поліуретанакрилових плівок і покриттів, можна вважати перспективним їх використання для формування стійких до механічних деформацій еластичних шкіряних матеріалів.

Ключові слова: полімерні композиції, шкіряний напівфабрикат, поліакрилати, поліуретани, формування покриття, властивості.

Постановка проблеми. Фінішні процеси й операції формування покриття на шкіряному напівфабрикаті відіграють суттєву роль у багатоступеневій технології виготовлення шкіряних матеріалів. При цьому велике значення має як хімічний склад покривної композиції, так і спосіб її ефективного використання. Це значною мірою обумовлено особливостями структури лицьової поверхні шкіряного

напівфабрикату, від якої залежить стадійність формування покриття та його тривалість. Слід відзначити, що цей поетапний процес визначається необхідністю отримання шкіри з комплексом необхідних фізико-хімічних властивостей як поверхневого шару, так і об'єму всього шкіряного матеріалу. При цьому необхідно максимально зберегти структуру і фізико-хімічні властивості напівфабрикату. У випадку шкіряної сировини з підвищеним ступенем дефектності, на початковій стадії цього процесу після видалення дефектної частини лицьового шару дерми при шліфуванні напівфабрикату виконується його ґрунтування з використанням водних дисперсій полімерів. Цей процес забезпечує скріплення поверхневого і розташованого нижче сітчастого шарів дерми. Водночас створюється основа для формування покривної пошарової плівки з комплексом необхідних технологічних і експлуатаційних властивостей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У процесі багатоступеневого формування покриттів на шкірах використовується широкий асортимент полімерів і композицій різного хімічного складу та структури переважно у водному й органічному середовищах. Так, для формування покриттів на шкіряному напівфабрикаті в (Winter, Schultz & Gutterres, 2015) розглянуто можливість використання і властивості поліакрилатів, поліуретанів і казеїну. При цьому зазначається, що поліакрилати відзначаються світлостійкістю, водостійкістю і формувальною здатністю при нагріванні й тиску, тоді як поліуретани — стійкістю до тертя, опором до низьких температур і легким з'єднанням, а казеїн — адгезійною здатністю, опором до підвищених температур, глянцевою поверхнею. Відомо використання композиції на основі модифікованого капролактамом казеїну і водної дисперсії поліуретану при виробництві різних матеріалів, зокрема й шкіри (Jianzhong, Qunna, Danggae, Jianhua & Jing, 2012). У праці (Николаенко, Кулевцов & Степин, 2012) розглянуто використання поліуретанових полімерів у водному й органічному середовищах для формування покриття на шкіряному напівфабрикаті, зокрема ґрунтування та фінішного закріплення. Водночас наведені вимоги до покривних композиційних матеріалів для формування захисного покриття на шкірах. Це стосується термостійкості покриття, його стійкості до багаторазового вигинання, сухого й мокрого тертя, до дії органічних розчинників, розтягування і вигинання за низьких температур, адгезії покриття до сухої і мокрої шкіри. Авторами описані технологічні особливості формування покриття на шкіряному напівфабрикаті з натуральною і шліфованою лицьовою поверхнею.

У праці (Касьян, 2016) досліджено вплив екзополіакриламід (ЕПАА) на фізико-механічні властивості поліакрилових і поліуретанових плівок різної твердості. Встановлено підвищення їх міцності, модуля еластичності і зниження розривного подовження. При цьому ЕПАА знижує водостійкість полімерного покриття. Для підвищення водостійкості покриття рекомендується використовувати акрилуретанові композиції з вмістом 5—7% ЕПАА і 2—3% основного сульфату хрому маси полімеру (Кондратюк & Касьян, 2017). Модифіковані акрилуретанові композиції використані в технології оздоблення шкір для верху взуття (Касьян, Сміла & Ліщук, 2012). При цьому отримані шкіри характеризуються підвищенням адгезії покриття до мокрої шкіри на 38—47%, стійкості до мокро

тертя і багаторазового вигинання відповідно на 15% і 59—64%, вищими показниками термостійкості та паропроникності на 25—27°C і 12—20%.

В огляді (Fan, Ma & Xu, 2019) описано синтез органічних і неорганічних нанокompозитів на основі полімерів різного хімічного складу та їх використання в технології оздоблення шкіряних матеріалів. У праці (Hu, Ma & Deng, 2008) використано нанокompозит поліакрилат/нано-SiO₂ для формування покриття на шкіряному напівфабрикаті. Покривну композицію готували емульсійною полімеризацією без емульгаторів. При цьому динамічним лазерним розсіюванням встановлено збільшення розміру частинок поліакрилат/нано-SiO₂ на 59% з відповідним зменшенням ζ потенціалу та підвищенням температури склування композиції на 5,4°C. Водночас сорбція води знижувалась на 17,9%, а паропроникність шкіри підвищувалась на 7,8%. Відомо використання гідрофільного поліуретану з дисульфідними зв'язками в основному ланцюгу (Liang, Wang, Fan, Xiang & Chen, 2020) для формування фінішного покриття, здатного самовідновлюватись протягом 12 год за температури 60°C після пошкодження.

Отже, незважаючи на значну кількість праць, у яких досліджувалося формування покриттів на шкірах, практично незначна їх кількість стосується науково обґрунтованого складу й оптимальних умов їх формування. У зв'язку з цим актуальним можна вважати розширення асортименту плівкоутворювачів на основі композицій поліуретанакрилових полімерів.

Мета статті: дослідження фізико-хімічних властивостей поліакрилових і поліуретанових плівок для визначення виду плівкоутворювача для формування покриттів на шкіряному напівфабрикаті.

Матеріали і методи. Для формування покриттів на шкіряному напівфабрикаті досліджено фізико-хімічні властивості монолітних плівок, отриманих з поліакрилових дисперсій і поліуретанів товщиною 100—150 мкм, та мікропористих плівок поліуретанів товщиною 200—250 мкм. Акрилові плівки отримані з дисперсії на основі метилбутилакрилату з вмістом сухого залишку 38,9% і рН 6,6 вихідної (АВ) й модифікованої (АМ) акрилкарбокситетаноламіном (АКЕА) природних нафтових кислот гасово-газойлевої фракції з вмістом 28,3% поліциклічних кислот і середньою молекулярною масою 280. Поліуретанові плівки отримані з використанням 4,4'-дифенілметандізоціанату та поліетиленгліколю з вмістом ацилсемикарбозидних і гідроксильних груп, мас. % відповідно 11,2 і 0,2 та поліфуриту ПФ-1000 — 3,4% (ПУ-1) і поліестеру (ПУ-2). Мікропористі поліуретанові плівки ПУ-1П і ПУ-2П отримуються методом конденсаційного структуроутворення в присутності парів води. Поліуретанакрилові плівки отримані із водної дисперсії ПУА-Д на основі біндера поліуретану й акрилату Lepton SPC компанії BASF (Німеччина) із сухим залишком 38%, рН 8.

Для формування покриття використаний шкіряний напівфабрикат, отриманий із шкур великої рогатої худоби — яловичі середньої на приватному підприємстві АТ «Чинбар» після стругання на товщину 1,8 мм та синтанно-танідного наповнювання. Використаний шкіряний напівфабрикат характеризувався гідротермічною стійкістю — 106°C і вологістю 14,3% та вмістом, мас. %: оксиду хрому (III) — 3,8, РЕОР (без полімерних сполук) — 15,9.

Гідротермічна стійкість напівфабрикату встановлюється за початковим скороченням зразка при його нагріванні в суміші гліцерину та води з ваговим

співвідношенням 4:1 зі швидкістю 2—3°C/хв (ASTM D6076-18 та DSTU 2726-94). Температура склування акрилових плівок — на скануючому мікрокалориметрі (Годовський, 1976). Хімічний аналіз шкіряного напівфабрикату, випробовування отриманих плівок і оздоблених шкір виконуються за методиками (Данилкович, 2006). При цьому визначаються дубильні речовини у перерахунку на оксид хрому (III) йодометричним методом; речовини, що екстрагуються органічними розчинниками (PEOP), — у приладі Зайченка з використанням тетрахлорметану і трихлоретилену та подальшим доведенням до постійної маси за температури 128—130°C залишку після видалення розчинників.

Фізико-хімічні властивості плівок і шкір з покриттям встановлюються після їх кондиціонування за нормальних умов. Зокрема, паропроникність зразків, мг/(см²·год), встановлюється ексикаторним методом за втратою маси заповнених водою спеціальних стаканчиків при використанні концентрованої сірчаної кислоти. Повітропроникність, см³/(см²·год) — за об'ємом повітря, що дифундує через зразок при різниці тисків 1 кПа протягом 1 год. Фізико-механічні властивості полімерних плівок визначаються на розривній машині РМУ-0,05-1 (РФ) при швидкості деформування 50 мм/хв. Стійкість покриття до тертя і опір багаторазовому вигинанню — відповідно на приладах «ИПК-1» та «ИПК-2» (РФ).

Викладення основних результатів дослідження. Модифікація акрилового полімеру АКЕА супроводжується підвищенням фізико-механічних показників, у тому числі морозостійкості (табл. 1).

Таблиця 1. Фізико-хімічні властивості поліакрилових плівок

Показник	Поліакрилова дисперсія	
	АВ	АМ
Модуль еластичності σ_{100} , МПа	0,9	0,5
Границя міцності при розриванні σ_p , МПа	2,8	3,3
Подовження при розриванні ε_p , %	1280	1540
Температура склування T_c , °C	-8,0	-23,5

Монолітні поліуретанові плівки ПУ-2 характеризуються вищим значенням міцності порівняно з ПУ-1 на 17,9% при деякому зниженні модуля еластичності (табл. 2). Поліуретани на відміну від поліакрилатів мають суттєво вищі значення σ_p і σ_{100} при зменшених значеннях ε_p . Монолітні плівки ПУ порівняно з пористими цього полімеру характеризуються вищими значеннями σ_p і σ_{100} відповідно в 5,0—5,6 і 3,1—4,5 раза та меншими значеннями ε_p на 29—41%. Плівки, отримані з поліуретанакрилової дисперсії, мають поміжні значення досліджених фізико-механічних показників.

Таблиця 2. Фізико-механічні властивості поліуретанових плівок

Показник	ПУ-1	ПУ-2	ПУ-1П	ПУ-2П	ПУА-Д
σ_{100} , МПа	8,6	6,5	1,9	2,1	1,6
σ_p , МПа	36,5	60,0	6,50	11,8	22,0
ε_p , %	580	550	450	390	820

Мікропористі плівки відрізняються досить високими значеннями показників паровологопроникності (рис. 1). Значення показників паропроникності зумовлені механізмом транспортування парів води через пористу структуру плівки, який

визначається природою полімеру і розподілом пор за розмірами. У випадку гідрофобного поліуретану швидкість десорбції молекул води буде більшою за відносно більш гідрофільний полімер. При цьому вплив хімічного складу плівок на їх фізико-хімічні властивості свідчить про адекватні зміни паропроникності та сорбції парів води. Слід зауважити, що максимальні значення показників досягається для плівок ПУА-Д.

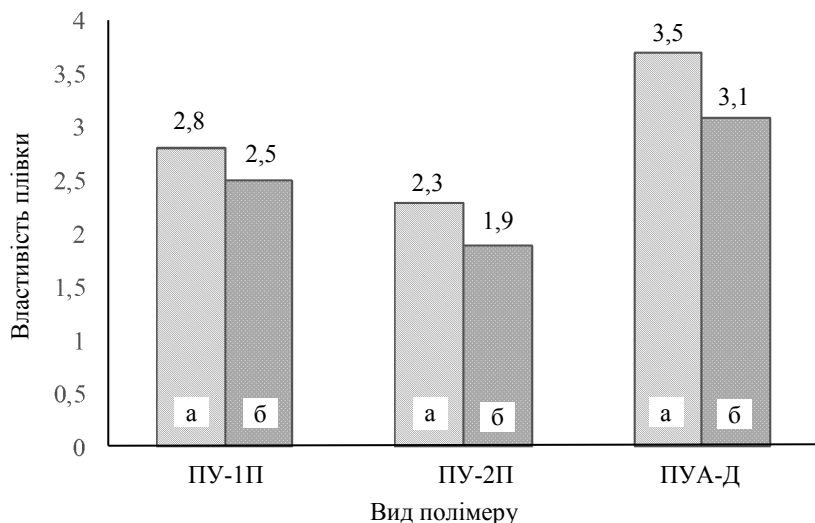


Рис. 1. Залежність фізико-хімічних властивостей плівок від виду полімеру:
а — паропроникність, б — сорбція парів води

Тож модифікація акрилових дисперсій дає змогу підвищити еластичність та морозостійкість плівок, одержаних на їх основі, а висока міцність поліуретанів — експлуатаційні показники поліуретанакрилових плівок, отриманих із водних дисперсій, при максимальних значеннях їх паропроникності й сорбції парів води.

Результати дослідження комплексу фізико-хімічних властивостей поліуретанакрилових плівок послужили основою для формування покриттів на шкіряному напівфабрикаті. Сформовані полімерні покриття на шкірах показують (табл. 3), що ПУ-покриття за комплексом фізико-механічних властивостей, які відносяться до найважливіших експлуатаційних характеристик шкіряних виробів, суттєво перевищують поліакрилові, особливо за міцністю їх взаємодії з субстратом, опором знакозмінних навантажень і стійкістю до тертя.

Таблиця 3. Фізико-хімічні властивості покриттів на шкірі

Показник	Покриття на основі		
	АМ	ПУ-2П	ПУА-Д
Опір вигинанню, тис. циклів	28,5	>500	>500
Адгезія покриття, Н/м, до шкіри сухої микрої	460	1550	1200
	235	1040	950
Стійкість до мокрої тертя, оберти	260	5600	1300
Паропроникність шкіри, мг/(см ² ·год)	2,1	1,5	2,9
Повітропроникність шкіри, см ³ /(см ² ·год)	72	37	83

Отримані результати свідчать про те, що формування ПУ-покриттів на напівфабрикаті капілярно-пористої структури супроводжується низкою процесів, які зумовлюють зміну властивостей як колагенової структури, так і покриття. ПУ-композиція, залежно від її складу та властивостей субстрату, проникає в його пори, що зміцнює шкіру. При цьому утворюються міцні адгезійні зв'язки покриття з субстратом. Особливо це важливо для оздоблення маломіцного шкіряного напівфабрикату. Про це свідчить характер зміни комплексу фізико-механічних властивостей покриття, залежно від його складу. Зокрема, покриття ПУ-2П і ПУА-Д відрізняються від поліакрилового покриття, модифікованого АКЕА, підвищеними значеннями показників опору вигинанню та адгезійної міцності до мокрої шкіри відповідно в 17,5—21,5 раза і 4,0—4,4 раза. При цьому паропроникність і повітропроникність шкіри з покриттям ПУА-Д є найвищим, а з покриттям ПУ-2 найнижчим. Присутність у волокнистій структурі напівфабрикату вологи більшою мірою сприяє формуванню пористого покриття при використанні поліуретанової дисперсії. Деяко нижчі значення паропроникності шкіри з ПУ-покриттям порівняно з вільними плівками є наслідком високої адгезії таких покриттів до колагенвмісної основи та незначного ущільнення структури покриттів при пресуванні шкіри.

Отже, аналіз отриманих результатів указує на перевагу поліуретанових покриттів щодо поліакрилових і дає змогу регулювати структуру захисної плівки в широких межах шляхом зміни хімічного складу і режиму формування покриття. Незважаючи на переваги поліуретанових покриттів, поліуретан акрилової дисперсії надають можливість формувати покривні плівки на шкіряному напівфабрикаті з необхідним комплексом фізико-механічних і гігієнічних властивостей. Водночас максимально зберігаються органолептичні показники модифікованого в технологічних процесах шкіряно-хутрового напівфабрикату.

Висновки

Досліджено комплекс фізико-механічних і фізико-хімічних властивостей монолітних та мікропористих поліакрилових і поліуретанових плівок. Встановлено зниження границі міцності, модуля еластичності та розривного подовження мікропористих поліуретанових плівок порівняно з монолітними відповідно в 5,0—5,6; 3,1—4,5 і 1,3—1,4 раза. При цьому найбільшою міцністю і розривним подовженням характеризуються плівки, отримані з поліуретанакрилової дисперсії, які досягають границі міцності 22 МПа та подовження при розриванні 820%.

У результаті порівняльного аналізу результатів дослідження експлуатаційних властивостей плівкоутворювачів на основі поліакрилових і поліуретанових полімерів встановлено, що найперспективнішими композиціями є водні системи. Термодинамічна нестійкість водних дисперсій полімерів надає можливість реалізувати різноманітність їх властивостей і пов'язаних з ними процесів структуроутворення при ґрунтуванні шкіряного напівфабрикату та плівкоутворенні на його поверхні при оздобленні. Встановлено кореляцію між фізико-механічними властивостями мікропористих і монолітних полімерних плівок та поліуретанових і поліуретанакрилових покриттів на шкіряному напівфабрикаті.

Визначено переваги санітарно-гігієнічних властивостей шкір з поліуретан-акриловим покриттям перед шкірами з поліакриловим, модифікованим алкіл-карбокситанолами природних нафтових кислот гасово-газойлевої фракції і поліуретановим покриттям. Водночас поліуретанакрилові покриття переважають поліакрилові за комплексом фізико-механічних показників, зокрема за адгезійної міцністю в 2,6—4,0 рази, стійкістю до мокрого тертя в 5 разів, багаторазовим вигином більше ніж у 17 разів.

Враховуючи комплекс фізико-механічних і гігієнічних властивостей поліуретанакрилових плівок і покриттів, можна вважати перспективним їх використання для формування стійких до механічних деформацій еластичних шкіряних матеріалів.

Література

Годовский, Ю. К. (1976). Теплофизические методы исследования полимеров. Москва: Химия.

Данилкович, А. Г. (2006). Практикум з хімії і технології шкіри та хутра: 2 вид., перероб. і доп. Київ: Фенікс.

Касьян, Е. Є. (2016). Властивості полімерних плівок, модифікованих похідними екзополісахаридів. *Вісник ХНУ. Технічні науки*, 4, 89—94.

Кондратюк, О. В., Касьян, Е. Є. (2017). Властивості модифікованих полімерних композицій для оздоблення шкір. *Вісник ХНУ. Технічні науки*, 5, 62—66.

Касьян, Е.Є., Сміла, А.В., Ліщук, В.І. (2012). Технологія оздоблення шкір модифікованими акрилоуретановими композиціями. *Вісник ХНУ. Технічні науки*, 3, 207-211.

Николаенко, Г. Р., Кулевцов, Г. Н., Степин, С. Н. (2012). Применение полиуретановых дисперсий в отделочных процессах кожевенной промышленности. *Вестник Казанского технологического Университета*, 89—94.

Liang, F., Wang, T., Fan, H., Xiang, J., Chen, Y. (2020). A leather coating with self-healing characteristics. *Journal of Leather Science and Engineering*, 5. DOI:10.1186/s42825-020-0018-4.

Fan, Q., Ma, J., Xu, Q. (2019). Insights into functional polymer-based organic-inorganic nanocomposites as leather finishes. *Journal of Leather Science and Engineering*, 3, 1—10.

Hu, J., Ma, J., Deng, W. (2008). Properties of acrylic resin/nano-SiO₂ leather finishing agent prepared via emulsifier-free emulsion polymerization. *Materials Letters*, 62, 2931—2934.

Jianzhong, M., Qunna, X., Danggae, G., Jianhua, Z., Jing, Z. (2012). Blend composites of caprolactammodified casein and waterborne polyurethane for film-forming binder: Miscibility, morphology and properties. *Polym. Degrad. Stab.*, 97, 1545—1552.

Winter, C., Schultz, M. E. R., Gutterres, M. (2015). Evaluation of polymer resins and films formed by leather finishing. *Latin Amer. Applied Research*, 45, 213—217.

SULFUR-CONTAINING COMPOUNDS OF WOOL AND THEIR ROLE IN THE PROCESSES OF WOOL GROWTH AND THE FORMATION OF PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF FIBERS

P. Stapaj, N. Stakhiv, O. Smolianinova, O. Grabovska

Institute of Animal Biology NAAS

O. Tyutyunnyk

Kamianets-Podilskyi National Ivan Ohiienko University

Key words:

*Sheep
Wool
Sulfur
Cystine
Sulfolipids
Structure
Physicochemical
properties*

Article history:

Received 15.09.2021
Received in revised form
29.09.2021
Accepted 11.10.2021

Corresponding author:

O. Grabovska
E-mail:
alice_grb@ukr.net

ABSTRACT

The article presents the analysis of literature and personal research data on the content of sulfur in different categories of wool fibers in general and in particular, in their individual structural components, as well as the role of this element in the formation of their physicochemical properties.

The obtained data were processed in Excel, determining the arithmetic mean (M), the statistical error of the arithmetic mean (m), the probability of the difference between the arithmetic means of two variation series ($P <$). Wool contains from 0.7 to 5.0% of total sulfur. Sulfur in wool is found in various sulfur-containing compounds, but cystine holds its largest amount (about 74%). Because of this, cystine plays a crucial role in the synthesis of keratin and the formation of physic mechanical, and therefore technological properties of fibers, in particular their strength. The content of sulfur in wool reflects all possible changes in the wool fiber under the influence of various factors (UV-rays, the action of acids and alkalis, nutritional factors, etc.), and its balance becomes negative after the level of cystine decreases in wool. The fiber structure contains up to 3% of lipids, which are both free and bound to protein. These structural lipids are components of the cell membrane complex and are composed of ceramides, cholesterol sulfate, cholesterol, fatty acids and sulfolipids.

Wool with high sulfur and sulfolipids content is characterized by better indicators of physical and mechanical properties, in particular the tensile strength of fibers. The high content of cholesterol sulfate in the lipid composition of the wool indicates that this component is an important determinant in maintaining the integrity of the fiber structure. Numerous studies conducted on different gender-age groups of sheep indicate that sheep feeding with Sulfur always has a positive effect on the intensity of wool growth and its physicochemical properties.

СУЛЬФУРВМІСНІ СПОЛУКИ ВОВНИ І ЇХ РОЛЬ У ПРОЦЕСАХ ВОВНОУТВОРЕННЯ ТА ФОРМУВАННІ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВОЛОКОН

П. В. Стапай, Н. П. Стахів, О. О. Смолянінова, О. С. Грабовська

Інститут біології тварин НААН

О. С. Тютюнник

Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка

У статті представлено аналіз даних літератури і власних досліджень про вміст сульфуру у різних категоріях вовняних волокон взагалі і, зокрема, в окремих їхніх структурних компонентах, та роль цього елемента у формуванні їх фізико-хімічних властивостей. Отримані дані обробляли в Excel, визначаючи середнє арифметичне (M), статистичну похибку середнього арифметичного (m), ймовірність різниці середніх арифметичних двох варіаційних рядів ($P <$). Представлені дані свідчать, що сульфур відіграє важливу роль у процесах вовноутворення та формуванні фізико-хімічних і технологічних властивостей волокон. Сам синтез кератину невіддільно пов'язаний з інтенсивним використанням сульфурвмісних сполук, зокрема цистеїну. Проаналізовані дані свідчать, що після попереднього окиснення або відновлення кератин вовни можна розділити на дві групи протеїнів: з великою молекулярною масою і низьким вмістом сульфуру — фібрилярна структура (карбоксиметилкератиніни або α -кератоза) та з меншою молекулярною масою і високим вмістом сульфуру — глобулярна структура (карбоксиметилкератиніни або γ -кератоза).

У структурі волокна міститься до 3% ліпідів, які є як у вільному, так і зв'язаному з протеїном стані. Ці структурні ліпіди — компоненти клітинномембранного комплексу, складаються з церамідів, холестерол сульфату, холестеролу, жирних кислот і сульфоліпідів. Сульфоліпіди утворюють різні за міцністю компоненти з протеїнами. Показано, що вовна з високим вмістом сульфуру і сульфоліпідів характеризується кращими показниками фізико-механічних властивостей, зокрема міцності волокон на розрив. Великий вміст холестерол сульфату в ліпідному складі вовни вказує на те, що цей компонент є важливою детермінантою у підтриманні цілісності структури волокон. Численні дослідження, проведені на різних статеві-вікових групах овець, свідчать про те, що підгодівля овець сульфуром завжди позитивно позначається на інтенсивності росту вовни та її фізико-хімічних властивостях.

Ключові слова: *вівці, вовна, сульфур, цистин, сульфоліпіди, структура, фізико-хімічні властивості.*

Formulation of the problem. Due to the spinning and felting properties of wool, wool fibers are ideal for the production of various types of clothing, technical fabrics, felted footwear, felt products, and therefore wool continues to be an important textile raw material for light industry.

The purpose of the research is to analyze data of ukrainian and foreign scientific literature and own research on the role of sulfur-containing compounds in the processes of wool formation and the formation of physical and chemical properties of sheep wool fibers.

Results and discussion. Wool is the main raw material for receiving fiber of animal origin. Despite significant advances in the chemical production of synthetic fibers, these fibrous materials cannot fully reproduce all part of wool. It only has properties such as the lowest thermal conductivity, softness, lightness, high hygroscopicity, sanitary and hygienic properties, sound insulation, the ability to transmit ultraviolet rays, etc.

Wool, the fibrous coating from sheep, is the most important animal fiber used by the textile industry. It has been used continuously for several thousand years, the earliest type of fabric made from wool probably was felt. Although the relative importance of wool as a textile fiber has declined with the increasing use of synthetic fibers, it remains important in some sectors of the market (John, et al., 2016). The main substance of hair fiber is solid keratin — a complex protein compound which differs from other proteins by its high content of Sulfur. In addition, keratin is characterized by high density, poor solubility in water, resistance to many chemical factors and enzymes (Макар, 1992; Кричевский, 2001; Langbein & Schweizer, 2005; Moll, Divo & Langbein, 2008).

Wool fiber after cleaning is more than 96% composed of protein — keratin, which includes the following chemical elements (in%): carbon — 50.3—52.5; hydrogen — 6.4—7.3; nitrogen — 16.2—17.7; oxygen — 20.7—25.0; sulfur — 0.7—5.0. In addition to sulfur, sheep wool contains a significant amount of macro- and micro elements. Thus, 1 kg of dry matter of wool contains 4.2 g of ash, including (mg): calcium — 2300; sodium — 305; iron — 60; potassium — 45; manganese — 25 and copper — 25. More than 30% of ash is Silicon. The latter is found even in the hair of newborns (Капланский, 1931; Илчев & Славов, 1997; Мжельская & Ларский, 1983). The average content of micro elements in the hair according to various authors is as follows (mg / g): copper — 9.1—55.6, zinc — 80—228, nickel — 0.19—4.21, magnesium — 26.6—85.7, manganese — 1.40—2.93, mercury — 3.71—29.6, lead — 6.0—26.7, cadmium — 0.94—2.76, iron — 15.3—40.0.

Sulfur dyes have been traditionally used for dyeing cellulosic materials, in particular for dark navy and black shades on cotton. Sulfur dye can be used to produce a deep black shade on wool that is comparable with chrome black dyestuff (Jackie et al., 2011).

Wool fibers are made of keratins of two types. The first one is inherent to the fibers in the normal unstretched state. It is known as α -keratin, in which the polypeptide chain is twisted in a spiral and forms a so-called α -helix structure. The second type is β -keratin, in which the peptide chains are in a straightened state by more than 50% (Gillespie, 1990; Barba et al., 2008). Keratin dissolves in slightly alkaline solutions after breaking the disulfide bonds. The study of the structure of wool keratin is based on its solubility, which is achieved by oxidation or reduction reactions of disulfide groups (Макар, 1977). These keratins are able to pass from one form to another under certain conditions. This is the basis of the elasticity of wool fibers (Гавриляк & Седіло, 2012).

In addition to α - and β -forms, wool keratin is characterized by a three-phase structural composition. That is, sequentially treating wool with various reagents which break or block disulfide bonds, keratin is divided into three fractions: alpha-, beta- and gamma-keratins or so-called keratins. Keratins are polypeptides which are linked by disulfide bonds (Feughelman et al., 2003). During oxidation, cystine disulfide bonds are oxidized to two cysteic acid residues, and the use of reducing agents leads to the rupture of cystine disulfide bonds with the formation of cysteine (Gong, 2012).

Thus, the bulk of the wool (80%) dissolved after pre-oxidation or reduction can be divided into two groups of proteins: high molecular weight and low sulfur — fibrillar

structure (carboxymethylkeratin, or alpha-keratose) and lower molecular weight and high sulfur content — globular structure (carboxymethylkeratin, or gamma-keratose) (Feughelman, 2002; Rogers et al., 2004a; Rogers et al., 2004b; Powell et al., 1997).

Wool keratoses correspond to different structural components of the fiber. In particular, α -keratose (S-S-carboxymethylkeratin-A) corresponds to the protein of macro- and microfibrils; β -keratose (insoluble fraction of wool fiber) — cuticula and cell membranes; γ -keratose (S-carboxymethylkeratin-B) — between the fibrous substance, i.e. the cementitious substance, or the fiber matrix. The quantitative ratio of keratoses in wool is different, but the α -fraction accounts for an average of 55%, and γ and β -fractions 25 and 16% respectively (Макар, Швець, Стапай & Новосад, 1995; Rogers et al., 2006). Alpha-keratose is characterized by a low content of Sulfur (~2%), and γ -keratose is a protein with a high content of this element (in average 6%) (Ткачук, Стапай & Гавриляк, 2011; Chao Yuan et al., 2017).

Another group of proteins can be distinguished from wool fiber, which contain a large percentage of the amino acids of tyrosine and glycine and a small amount of lysine, histidine, isoleucine, glutamic acid and almost complete absence of methionine. These proteins are part of the non-fibrillar matrix and are directly related to the plasticity of wool (Лико, 2003; Eichhorn, Hearle, Jaffe & Kikutani, 2009). It was found out that wool contains 17 amino acids, of which the largest percentage is aspartic acid, cystine, leucine, arginine, and the smallest — isoleucine, histidine, methionine. Different groups of wool keratin proteins, as well as its morphostructural components, differ significantly in amino acid composition, as evidenced by the data in tables 1 and 2 (Fraser, McRae & Rogers, 1972; Orwin & Woods, 1985).

Table 1. Amino acid composition of wool, low- and high-sulfur proteins, as well as proteins with high tyrosine and glycine contents (amino acid residue per 100 residues)

Aminoacid	Wool	Proteins with low Sulfur content	Proteins with high Sulfur content	Proteins with high glycine and tyrosine contents
Alanine	5.5	6.4	2.9	2.1
Arginine	6.6	7.3	6.7	4.5
Asparticacid	6.5	8.1	4.1	3.5
Cysteicacid	11.4	6.8	17.9	0.8
Glutamicacid	11.3	14.1	6.4	3.1
Glycine	8.8	8.8	5.4	30.8
Histidine	0.8	0.7	0.9	0.4
Isoleucine	3.4	3.7	3.0	1.0
Leucine	7.8	10.3	5.0	8.3
Lysine	3.0	4.1	0.7	0.8
Methionine	0.5	0.6	—	—
Phenylalanine	2.9	3.0	2.4	6.2
Proline	6.0	4.2	13.6	4.2
Serine	9.6	7.3	11.9	12.6
Threonine	6.1	4.4	10.4	2.0
Tyrosine	4.1	4.3	1.9	17.9
Valine	5.9	5.9	6.7	2.1

Table 2. Amino acid composition of morphostructural components of merino wool (amino acid residue per 100 residues)

Amino acid	Cuticula	Orthocortex	Paracortex
Alanine	5.7	5.7	6.0
Arginine	4.8	6.9	7.1
Asparticacid	3.9	7.3	7.6
Cysteicacid	14.8	8.7	7.5
Glutamicacid	8.9	13.1	12.1
Glycine	9.6	8.0	9.3
Histidine	1.0	0.9	0.8
Isoleucine	2.5	3.4	3.2
Leucine	6.0	7.7	8.7
Lysine	2.9	2.9	2.7
Methionine	0.4	0.4	0.5
Phenylalanine	1.9	2.8	3.1
Proline	9.3	6.7	6.1
Serine	13.6	10.2	10.0
Threonine	4.9	6.7	6.2
Tyrosine	2.9	2.9	3.6
Valine	6.6	5.7	5.6

Sulfur in wool is apart of various sulfur-containing compounds, but the largest amount is in cysteine (about 74%). Cysteine is amino acid which plays a crucial role in the synthesis of keratin and the formation of its mechanical properties, and, consequently, the technological properties in general. Only a small part of Sulfur is in another sulfur-containing amino acid — methionine — 2.4—4.8% of total Sulfur. According to available data, the balance of Sulfur in wool consists of sulfur-containing compounds such as cystine, cysteine, methionine, lantionine, cysteic acid, sulfates and sulfur oxidized by bromine (Zahn, 1995; Reis, 1965).

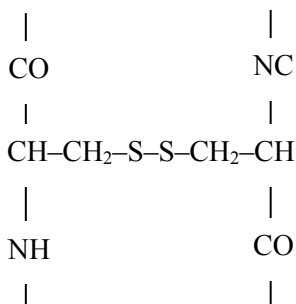
The lantionine and cysteic acids contents in wool are considered as a result of the influence of a number of reducing and oxidizing agents. In particular, cystine is oxidized to cysteic acid ($\text{HO}_3\text{SCH}_2\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$ — cysteic acid) under UV-rays. The cysteine sulfonic and cysteine sulfonic acids are intermediate product of this reaction is. Hydrogen sulfide is released from unstable cysteic acid, which in turn is oxidized to sulfates with a certain loss of total sulfur. In an alkaline medium, which creates sweat, in addition to cysteine forms lantionine, which contains one sulfur atom less than cysteine, but similarly forms a bond of the type $\text{R-S-R}(\text{HOOC}(\text{NH}_2)\text{CHCH}_2\text{-S-CH}_2(\text{NH}_2)\text{COOH}$ — lantionine.

Sulfur in wool reflects all possible changes in the wool fiber under the influence of various factors and any change in its balance will depend primarily on cystine, although the redistribution of other sulfur-containing compounds may have a corresponding effect. Indeed, the balance of Sulfur becomes negative immediately after the level of cystine in wool decreases (Küpker, 2002; Zahn & Gattner, 1997).

Table 3. Content of sulfur-containing compounds in wool (Fletcher, Robson & Todd, 1963)

Sulfur-containing compounds, %	$M \pm m$	Persent (%) to total Sulfur
Total Sulfur	3.18±0.03	—
Cystine	8.76±0.13	73.54
Methionine	0.59±0.05	4.01
Cysteicacid	0.63±0.04	3.42
Lantionine	0.06±0.003	0.28
Cystathionine	0.05±0.002	0.22

Wool is like a net of polypeptide chains connected by cystine disulfide bonds according to the scheme:



However, there are opinions that the inclusion of cystine in the macromolecule of wool keratin occurs in another scheme, in particular, that wool has two types of disulfide bridges. The first is called the “fraction (A + B)”, which reacts rapidly with alkalis and forms lentionine. The formation of lentionin during protein processing was firstly detected in the study of keratins. The second type “fraction (C + D)” is much worse exposed to alkali. The first type forms bridges between individual polypeptide chains, and the second — between sections of the same chain. It was found out that the destruction of the “fraction (C + D)” causes rapid protein breakdown, and the destruction of the “fraction (A + B)” does not lead to this. It was recognized that the value of disulfide bonds in wool was very large, as their ruptures led to a sharp decrease in fiber strength, rapid swelling of keratin, and its breakdown products were easily digested by enzymes. Thus, the physicochemical properties of wool are closely related to the presence of cysteine in it. In particular, the resistance of wool and human hair to stretching under load is well known, especially in the wet state at elevated temperatures, which is widely used in the textile industry and in hair perming. The dependence of the strength of wool on its content of sulfur and cysteine in it is evidenced by the data in table 4.

Table 4. The content of sulfur and cystine in fine wool

Sulfurcontent (%)	Cystine (%)	Strength (km)
2.90	8.70	6.30
2.95	8.64	6.31
3.00	9.10	7.30
3.10	9.40	7.50
3.20	10.11	8.00
3.30	11.84	8.60

The presented data show that sulfur plays an important role in the processes of wool formation and the formation of physicochemical and technological properties of wool fibers. The synthesis of keratin itself is inextricably linked with the intensive use of sulfur-containing compounds, mainly cysteine. Keratinization of wool fiber is accompanied by oxidation of sulfhydryl groups into disulfide bonds. It is known that 0.71% of total sulfur extracted from hair follicles is in disulfide form. Sulfur-containing compounds, in the molecule of which there are SH-groups, are a plastic substrate for the construction of hair fiber keratin, and on the other hand — determine the activity of enzymes which catalyze metabolic processes in hair follicles. It was found out that the conversion of the total quantity of SH-groups to disulfide bonds during keratinization releases energy capable of synthesizing approximately 1% of keratin peptide bonds. As for the mechanism of inclusion of Sulfur in growing hair fibre, it is still completely unknown. Sulfur enters the fiber exclusively in the keratinization zone, and not through the papilla, as previously thought (Гавриляк, Макар, Стапай & Седіло, 2006).

It has long been shown that the content of sulfur, and hence its balance of dry wool can vary widely depending on various factors (Fletcher, Robson & Todd, 1963). Thus, the content of Sulfur in wool is influenced by exogenous and endogenous factors. The exogenous factors affect the wool fiber outside the hair follicle: the sun's ultraviolet rays, adverse weather conditions, some chemical factors, especially alkalis. In particular, washing wool in a traditional soap and soda solution is accompanied by an increase in the amount of lantionine and a corresponding decrease in cystine. Carbonization of wool has a similar effect. Endogenous factors affect the process of fiber formation directly in the follicle.

Breed and individual characteristics of animals, and, their physiological and feeding conditions (especially feeding sheep with sulfur), have a significant impact on the balance of Sulfur in wool. Thus, from the data in table 5 it is obvious that the balance of sulfur in wool in different periods of its growth is different. The largest, and therefore positive, it is in the summer-autumn period, i.e. the period of the best supply of nutrients to animals. Slightly lower sulfur content was found in the early winter period, and the lowest (deficient) — in the early spring. In parallel with the decrease in the content of total sulfur in wool during certain periods of its growth, the content of cystine, cysteic acid and lantionine also decreased.

Table 5. Content of sulfur-containing compounds in wool during its growth (% on dry matter) (Седіло, Макар, Гавриляк & Гуменюк, 2009)

Sulfur-containing compounds	Periods of wool growth		
	Summer-autumn	Early winter	Early spring
Total Sulfur	3.12±0.04	2.97±0.03	2.79±0.03
Cystine	9.17±0.1	8.53±0.12	6.39±0.1
Methionine	0.44±0.04	0.57±0.05	0.35±0.03
Cysteic acid	0.64±0.05	0.54±0.04	0.30±0.03
Lantionine	0.08±0.004	0.04±0.003	0.02±0.002
Cystathionine	0.04±0.003	0.05±0.003	0.02±0.002

The hair structure contains up to 3% lipids, which are in both free and protein-bound state. The lipids amount in the free state is almost twice lower than linked ones. These internal lipids differ significantly from wax lipids (surface lipids) and skin lipids (Ahn,

Hwang & Choi, 1999), as they do not originate from sebaceous glands, but originate from cell membranes of still functioning follicular cells (Schwan, Herrling & Zahn, 1986; Ponc, Weerheim, Lankhorst & Wertz, 2003). Free lipids are localized mainly in the cuticula, which is quantitatively. It is possible that the proportion of these lipids comes from surface wax, but the main ones are lipids have lost contact with fiber proteins during its keratinization or other factors.

It is known that different structural components of the fiber contain different amounts of lipids. Most of them are in β -keratose. Gamma keratoses contain only fractions of non-esterified cholesterol, but it is rich in other classes of polar lipids, and α -keratose is characterized by a relatively low content of lipids (Стапай & Макап, 1978).

It was specified that the structural lipids of the fiber are components of the cell membrane complex (CMC), which bind the cuticula and cortex cells (Körner, Petrovic & Höcker, 1995). Structural lipids of CMC contain ceramides, cholesterol sulfate, cholesterol and fatty acids. Hair fibre lipids form a continuous structure — the lipid layer (F-layer). Due to the lipid configuration, keratinized fibers perform a barrier function. The lipid F-layer plays a key role in determining the surface properties of the fibers, maintaining their integrity, namely hydrophobicity and strength (Lee & Chang, 1992).

All keratinized fabrics contain of ceramides, cholesterol sulfate, sulfolipids and other components (Bertrand, Doucet, Simionovici, Tsoucaris, & Walter, 2003). Sulfolipids forms different by strength components with proteins. It was specified that wool with a high content of Sulfur and sulfolipids is characterized by better indicators of physical and mechanical properties, in particular the tensile strength of fibers (Brosche, Platt & Dressler, 2000; Brosche, Platt & Dressler, 2001).

Sheep wool is characterized by a complex structural organization. The main part of the fiber falls on the cortex, which is the most important in the formation of physical and mechanical properties of hair fiber. Cortical cells consist of several tiers, tightly pressed together spindle-shaped cells, which are oriented along the axis of the fiber (Plowman, Deb-Choudhury, Clerens, Bryson & Dyer, 2009; Пешук, Бавіка, & Демідов, 2007; Гавриляк, 2011; Boulos et al., 2013). The cortical layer of fine wool is characterized by a bilateral structure, i.e. it consists of ortho- and paracortical cells. The asymmetry of the cortex is associated with the tortuosity of the fiber, which is characteristic of the wool of fine-wool sheep. Orthocortical cells, which are characterized by a lower content of Sulfur, are located closer to the core of the fiber and paracortical cells, which contain more sulfur, on the contrary — from the outside (Гавриляк, Седіло & Стапай, 2013).

A striking example of the fact that sulfur plays an important role in the formation of physical and mechanical properties of fibers is the peculiarity of the structure of the skeletal fibers, which are characterized by the existing core or brain layer (Caldwell, Mastronade, Woods & Bryson, 2005). The main component of the core is sterols and an insignificant amount of Sulfur, which negatively affects the technological properties of these fibers (Deedrick, 2004). Over hair fibers contain the lowest amount of cystine and sulfur compared to other categories of fibers (9 and 2.8%, respectively).

The high content of cholesterol sulfate in the lipid composition of the hair fiber indicates that this component is an important determinant in maintaining the integrity of

the fiber structure, i.e. serves between the cell “cement” in keratinized tissues. Cholesterol sulfate, which is found in the lipids of cell membranes of wool and other keratin fibers, is an additional component with amphiphatic properties required to build a double lipid layer. Cholesterol sulfate may be present in lipids in both unbound and bound state (Bouwstra et al., 1998).

Conducted studies on lambs of Ascanian multiparoustype of caracul, which were additionally fed with rapeseed meal, elemental sulfur, selenium, iodine and silicon in the main diet, showed that the most significant changes were recorded by cholesterol sulfate and the fraction, which is dominant among these classes of lipids, i.e. ceramides. Ceramides quantity in the keratin wool of experimental animals is probably lower, and the concentration of cholesterol sulfate, on the contrary — higher. It is still difficult to explain the fact that ceramides decrease under the influence of the used factors, but the increase in cholesterol sulfate is associated with mineral elements of the diet, including sulfur and obviously rapeseed oil meal, which is also rich in sulfur-containing amino acids. The plausibility of this assumption was confirmed by the fact that another fraction of polar lipids, which in its structure contains sulfur (sulfolipids), also showed a tendency to increase (Table 3) (Стапай, Ткачук, Седіло & Огородник, 2019).

Seasonal fluctuations in lipid components are a reflection of the corresponding changes in metabolism. The influence of the season is associated with the impact on the body of many factors, including such as photoperiodism, feeding level, ambient temperature, etc. All these factors cause changes in metabolic processes in sheep in general and wool formation processes in particular (Остап'юк & Стапай, 2004).

Studying of the influence of seasonal factors on the strength of the fibers show that they are lowest in winter period. With the onset of spring, the strength of the fibers begins to increase and reaches its highest levels in the summer-autumn period, i.e. the period of the best basic provision of animals.

Conclusions

In wool, which grew at different times of the season, a different quantity of sulfur-containing classes of lipids is recorded. Thus, the largest amount of sulfolipids was characteristic of winter wool. With the onset of spring and throughout the summer-autumn period, their quantity gradually decreased, and the content of cholesterol sulfate in all seasons was almost the same and only in the spring there was a decrease and especially in ewes. In wool contains 0.7—5.0% of total sulfur, which is found in various sulfur-containing compounds, in particular cystine holds its largest amount (about 74%), that's why, cystine plays a crucial role in the synthesis of keratin and the formation of physic mechanical and therefore technological properties of fibers — their strength. The sulfur balance in wool is made up by sulfur-containing compounds such as cystine, cysteine, methionine, lanthionine, cysteic acid, sulfates and bromine-oxidizing sulfur. The lanthionine and cysteic acid content in wool is the result of exposure to a number of renewable and oxidizing agents. Sulfur content in wool reflects all possible changes in the wool fiber under the influence of various factors (UV-rays, the action of acids and alkalis, nutritional factors) and its balance becomes negative after the cystine level in wool decreases.

References

Гавриляк, В. В., Седіло, Г. М. (2012). Порівняльна характеристика кератинів людського волоса та вовняного волокна. *Біологія тварин*, 14(1—2), 69—73.

Гавриляк, В. В., Макар, І. А., Стапай, П. В., Седіло, Г. М. (2006). Особливості субстрактного-гормональної регуляції метаболізму у волосяних фолікулах в процесі вовноутворення. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*, 42, 15.

Гавриляк, В. В. (2011). Електронно-мікроскопічні дослідження ультраструктури людського волоса в нормі та при патології. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*. Львів, 56, 208—213.

Гавриляк, В. В., Седіло, Г. М., Стапай, П. В. (2013). Дослідження молекулярних механізмів патологічного стоншення вовни в овець: методичні рекомендації. Львів-Оброшино, 27.

Илчев, А., Славов, Р. (1997). Минеральный состав шерсти овец. II Влияние возраста, пола и района содержания. Минерален състав на вълната на овцете. II Влияние на возраста пола и района на отлеждане. *Животновъдни науки*. 1997, 275—277.

Капланский, С. Я. (1931). *Биохимия кожи*. М: Изд-во Мособлисполкома, Ч. 1.

Кричевский, Г. Е. (2001). Химическая технология текстильных материалов. Учебник для вузов. М., 1, 540.

Лико, І. Я. (2003). Порівняльна характеристика структури, хімічного складу, фізичних показників нормальної і дефектної вовни: автореф. дис. канд. с.-г. наук. Львів, 16.

Макар, І. А. *Биохимические основы шерстной продуктивности овец*. М.: Колос, 1977.

Макар, І. А. (1992). *Пути улучшения качества шерсти*. Киев: Изд-во УСХА.

Макар, І. А., Швець, С. Ф., Стапай, П. В., Новосад, М. П. (1995). Вплив інсуліну та тиреоїдину на ріст вовни, її структуру та фізичні показники. *Проблеми АПК Карпат*. В. Бахта. 4, 241—246.

Мжельская, Т. И., Ларский, З. Г. (1983). Исследование содержания микроэлементов и ферментов в волосах как новый подход к изучению метаболизма на тканевом уровне [обзор]: Лабораторное дело. 1, 3—10.

Остап'юк, О. Р., Стапай, П. В. (2004). Морфологічний склад крові овець у зв'язку з річною динамікою росту вовни. *Науковий вісник Львівської національної академії ветеринарної медицини імені С. З. Гжицького*. Львів, 6, 3, Ч. 3, 171—175.

Пешук, Л. В., Бавіка, Л. І., Демідов, І. М. (2007). Технологія парфумерно-косметичних продуктів. К.: Центр учбової літератури, 376.

Седіло, Г. М., Макар, І. А., Гавриляк, В. В., Гуменюк, В. В. (2009). Метаболічна і продуктивна дія сірки в організмі овець: монографія. Львів: ПАІС, 148.

Стапай, П. В., Макар, І. А. (1978). К вопросу о липидном составе кератина шерстного жира у овец. Бюл. ВНИИ физиологии, биохимии и питания с.-х. животных. Боровск, 5, 52, 61.

Стапай, П. В., Ткачук, В. М., Седіло, Г. М., Огородник, Н. З. Ліпіди шкіри та вовни овець, їх роль у процесах вовноутворення і збереженні природних властивостей волокон. Львів: Видавництво «Бона», 2019. 332.

Ткачук, В. М., Стапай, П. В., Гавриляк, В. В. (2011). Секреція жиропоту та сезонні зміни ліпідного складу воску руна овець української гірськокарпатської породи з різним кольором вовнового покриву. *Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету*, 1, 180—184.

Ahn, S. K., Hwang, S. M., Choi, E. H. (1999). Morphologic characteristics of skin barrier and stratum corneum. *Journal Skin Barrier Research*, 1, 22—28.

Barba, S., Méndez, S., Kelly, R., Roddick-Lanzilotta, A., Parra Dzh., L., Koderch, L., (2008). Cosmetic effectiveness of topically applied hydrolysed keratin peptides and lipids derived from wool. *Skin Research and Technology*, 14(2), pp. 243—248. doi: 10.1111/j.1600-0846.2007.00280.x.

Bertrand, L., Doucet, J., Simionovici, A., Tsoucaris, G., Walter, P. (2003). Lead-revealed lipid organization in human hair. *Biochemical and Biophysical Acta*, 1620(1—3), 218—224, DOI: 10.1016/s0304-4165(02)00538-x.

Boulos, R., Eroglu, E., Chen, X., Scaffidi, A., Edwards, B., Toster, J., Raston, C. (2013). Unravelling the structure and function of human hair. *Green Chemistry*. 5, 1268—1273. 10.1039/c3gc37027e.

Bouwstra, J.A., Gooris, G.S., Dubbelaar, F.E.R., Weerheim, A. M., Ponc, M. (1998). pH, cholesterol sulfate, and fatty acids affect the stratum corneum lipid organization. *Journal Investigative Dermatology*, 3(2), 69—73. doi: 10.1038/jidsymp.1998.17.

Brosche, T., Platt, D., Dressler, S. (2000). Age-associated variations of integral cholesterol and cholesterol sulphate concentrations in human hair and finger nail. *Deutsche Gesellschaft für Altersforschung* 10. 13,2, 163—169.

Brosche, T., Platt, D., Dressler, S. (2001). Age-associated changes in integral cholesterol and cholesterol sulphate concentrations in human scalp hair and finger nail clippings. *Aging clinical and experimental research*, 13, 2, 131—138.

Caldwell, J. P., Mastronade, D. N., Woods, J. L., Bryson, W. G., (2005). The three-dimensional arrangement of intermediate filaments in Romney wool cortical cells. *Journal of Structural Biology*, 151(3), 298—305.

Chao, Yuan, Ying, Zou, Yao, Xueqiu, Kyoko Shima, Yuki, Miyauchi, Ayano, Naoe, Satoru, Naito, Tsutomu, Fujimura, Mitsuyuki, Hotta, Takashi, Kitahara, Xuemin, Wang. (2017). Properties of Skin in Chinese Infants: Developmental Changes in Ceramides and in Protein Secondary Structure of the Stratum Corneum. *BioMed Research International*. Art.ID 3594629, 2017, 6. <https://doi.org/10.1155/2017/3594629>.

Deedrick, D. W. (2004). Microscopy of hair part 1: a practical guide and skin using atomic force microscopy. *Forensic Science Communications, Research and Technology*, 1, 1—7.

Eichhorn, S., Hearle, J. W. S., Jaffe, M., Kikutani, T. (2009). Handbook of textile fibre structure: natural, regenerated, inorganic, and specialist fibres. CRC Press, 2, 532.

Feughelman, M. (2002). Natural protein fibres. *Journal of Applied Polim. Sci.*, 83(3), 489—507.

Feughelman, M., Lyman, D., Menefee, E., Willis, B. (2003). The orientation of the α -helices in α -keratin fibres. *International Journal of Biological Macromolecules*, 33(1—3), 149—152.

Fletcher, J. C., Robson, A., Todd, J. (1963). The sulphur balance in wool. *Biochem. J.*, 87, 560.

Fraser, R., McRae, K., Rogers, G. (1972). Keratins: Their composition, structure and biosynthesis, N. Y. Charl. Thom. 12.

Gong, H., Zhou, H., McKenzie, G. W., Yu, Z., Clerens, S., Dyer, J. M., Plowman, J. I., Wright, M. W., Arora, R., Bawden, C. S., Chen, Yu., Li, J., Hickford, J. G. H. (2012). An updated nomenclature for keratin-associated proteins (KAPs). *International Journal of Biological Sciences*, 8(2), 258—264. doi: 10.7150/ijbs.3278.

Gillespie, J. M. (1990). The proteins of hair and other hard α -keratins. *Cellular and Molecular Biology*, Plenum, New-York, 95—128.

Jackie Y Cai, John A Rippon, Jill McDonnell, Anne E Parnell. Dyeing wool with a sulphur black dye using a sodium borohydride/sodium bisulphite reducing system. *Coloration Technology*. 2011, 128, 1, 9—14. <https://doi.org/10.1111/j.1478-4408.2011.00333>.

John, A. Rippon, John R. Christoe, Ronald J. Denning, David J. Evans, Mickey G. Huson, Peter R. Lamb, Keith R. Millington, Anthony P. Pierlot. *Wool: Structure, Properties, and Processing*, 2016. <https://doi.org/10.1002/0471440264.pst402.pub2>.

Körner, A., Petrovic S., Höcker H. (1995). Cell membrane lipids of wool and human hair form liposomes. *Textile Research Journal*, 65, 56—58.

Küpker, K. (2002). Investigation of human hair carbohydrates and development of a new active: Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Naturwissenschaften im Fachbereich Chemie und Pharmazie. Der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster, Deutschland, 92.

Langbein, L., Schweizer, J. (2005). Keratins of the human hair follicle, *International Review of Cytology*, 243, 1—78.

Lee, S. H., Chang, S. N. (1992). Epidermal lipid and skin barrier. *Journal Aerospace Environ. Med.*, 2, 15—24.

Moll, R., Divo, M., Langbein, L. (2008). The human keratins: biology and pathology, *Histochemistry and Cell Biology*, 129, 705—733.

- Orwin, D. F. G., Woods, J. L. (1985). Cellular debris in the grease of wool fibres. *Textile Research Journal*, 55, 84—92.
- Ponec, M., Weerheim, A., Lankhorst, P., Wertz, P. W. (2003). New acylceramide in native and reconstructed epidermis. *Journal Investigative Dermatology*, 120, 581—588.
- Powell, B. C., Rogers, G. E., Jones, Ed. P., Zahn, H., Hacker, H. (1997). The role of keratin proteins and their genes in the growth, structure and properties of hair. In: Formation and structure of human hair. Basel, Switzerland: Birkhäuser Verlag, 59—148.
- Reis, P. J. (1965). *Biology of skin and hair growth*, 365.
- Plowman, J. E., Deb-Choudhury, S., Clerens, S., Bryson, W. G., Dyer, J. M. (2009). Protein expression in orthocortical and paracortical cells of Merino wool fibres. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(6), 2174—2180. doi: 10.1021/jf803290h.
- Rogers, M. A., Langbein, L., Winter, H., Ehmann, C., Praetzel, S., Schweizer, J. (2004). Characterization of a first domain of human high glycine-tyrosine and high sulfur keratin-associated protein (KAP) genes on chromosome 21q22.1. *Journal of Biological Chemistry*, 277, 48993—49002. DOI: 10.1074/jbc.M206422200.
- Rogers, M. A., Langbein, L., Winter, H., Beckmann, I., Praetzel, S., Schweizer, J. (2004). Hair keratin associated proteins: characterization of a second high sulfur KAP gene domain on human chromosome. *Journal Investigative Dermatology*, 122, 147—158. DOI: 10.1046/j.0022-202X.2003.22128.x.
- Rogers, M. A., Langbein, L., Praetzel-Wunder, S., Winter, H., Schweizer, J. (2006). Human hair keratin-associated proteins (KAPs). *International Review of Cytology*, 251, 209—263. DOI: 10.1016/S0074-7696(06)51006-X.
- Schwan, A., Herrling, J., Zahn, H. (1986). Characterization of internal lipids from wool. *Colloid & Polymer Science*, 264, 171—175.
- Zahn, H. (1995). Wool chemistry and process. Abstracts of Proc. 9th Int. Wool Textile Res. Conf (Biella), 1—16.
- Zahn, H., Gattner, H.-G. (1997). Hair sulfur amino acid analysis. In book: Formation and structure of human hair. P. Jolles, H. Zahn, H. Höcker. Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser, 239—259.

ENERGY-SAVING RECTIFICATION TECHNOLOGY WITH CONTROLLED MASS EXCHANGE CYCLES BETWEEN LIQUID AND VAPOUR

Y. Bulii, A. Kuts, A. Forsiuk, S. Chumachenko

National University of Food Technologies

Key words:

Mass exchange

Plates

Rectification

Cycles

Vapour column apparatus

Alcohol impurities

Article history:

Received 03.09.2021

Received in revised form

17.09.2021

Accepted 30.09.2021

Corresponding author:

Y. Bulii

E-mail:

yvbuliy@gmail.com

ABSTRACT

An energy-saving technology of cyclic rectification with a continuous supply of heating vapour and liquid to a mass-exchange column apparatus equipped with flake plates is proposed. The innovative method allows to prolong the time of contact of vapour and liquid on plates up to 40—60 s and to reduce the time of overflow up to 1.5—1.7 s. In order to implement the technology, a rectification column design was proposed, equipped with flake plates with variable free cross-section.

Hydrodynamic modes of operation of perforated plates were determined to ensure their cyclic action: the lower critical velocity of vapour in barbotage holes of meshes plates was 5,4 m/s, of scales plates was 6.5 m/s; the upper critical velocity at which liquid is carried away was 8 and 16 m/s, respectively. A prerequisite for spilling liquid through barbotage holes was an instantaneous reduction of the vapour velocity in the holes to 1.5—1 m/s due to the instantaneous change of the free cross-section of the plate from 2.6 to 51.7% and more.

Research of efficiency of the offered technology was carried out in industrial conditions in processes of distillation of alcohol-containing fractions and epuration of alcoholic fermentations distillates in the experimental column. This technical solution made it possible to provide complete purification of ethyl alcohol from ethers, methyl acetate and isopropyl alcohol, to increase the degree of extraction of higher alcohols of sour oil and methanol by 38%, to increase the multiplicity of the concentration of head impurities by 25%, the upper intermediate impurities — by 38%, the end impurities — by 37%, as well as increasing the liquid throughput of the column by 34%. Lack of drain and receiving devices on the plates made it possible to increase the contact area between vapour and liquid by 15—20%. The coaxial arrangement of the flakes on the plate web eliminates the possibility of formation of stagnant zones and allowed to intensify the mass transfer between vapour and liquid.

Under these conditions, the specific heating vapour consumption is reduced by 40% compared to typical installations: in the rectificational column it decreased from 25 to 15 kg/dl of anhydrous alcohol introduced on the acceptance plate, and in the epyrating column — from 15 to 8.2 kg/dl of anhydrous alcohol.

ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧА ТЕХНОЛОГІЯ РЕКТИФІКАЦІЇ З КОНТРОЛЬОВАНИМИ ЦИКЛАМИ МАСООБМІНУ МІЖ РІДИНОЮ І ПАРОЮ

Ю. В. Булій, А. М. Куц, А. В. Форсюк, С. М. Чумаченко

Національний університет харчових технологій

Запропонована енергозберігаюча технологія циклічної ректифікації за безперервної подачі гріючої пари та рідини в масообмінний колонний апарат, оснащений провальними тарілками. Інноваційний спосіб дає змогу подовжити час контакту пари і рідини на кожній тарілці до 40—60 с та скоротити час її переливу до 1,5—1,7 с. Для реалізації технології запропонована конструкція ректифікаційної колони, оснащеної лускоподібними тарілками із змінним вільним перерізом.

Визначені гідродинамічні режими роботи тарілок: нижня критична швидкість пари в отворах сітчастих тарілок становить 5,4 м/с, лускоподібних — 6,5 м/с; верхня критична швидкість — 8 та 16 м/с відповідно. Для здійснення почергових циклів та інтенсифікації переливу рідини необхідною умовою є миттєве зменшення швидкості пари в отворах або щілинах до 1,5—1 м/с завдяки миттєвій зміні вільного перерізу тарілки від 2,6 до 51,7% і більше.

Дослідження проводились у виробничих умовах в процесах розгонки спиртовмісних фракцій і епюрації бражного дистиляту. Спосіб дає змогу забезпечити повне видалення естерів, метилацетату та ізопропілового спирту, збільшити ступінь видалення вищих спиртів сивушного масла і метанолу на 38%, підвищити кратність концентрування головних домішок на 25%, верхніх проміжних домішок — на 38%, кінцевих — на 37%, а також підвищити пропускну здатність колони по рідині на 34%. Відсутність зливних і приймальних пристроїв на полотнах тарілок дає змогу збільшити площу контакту пари і рідини на 15—20%. Косаксіальне розташування лусок на полотні тарілки надає можливість виключити односпрямованість потоків пари і рідини та підвищити ефективність масообміну між рідиною і парою.

За таких умов питомі витрати гріючої пари зменшуються на 40% порівняно з типовими установками: в розгінній колоні від 25 до 15 кг/дал безводного спирту, введеного на тарілку живлення, а в епюраційній — від 15 до 8,2 кг/дал безводного спирту.

Ключові слова: масообмін, тарілки, ректифікація, цикли, колонний апарат пара, домішки спирту.

Problem statement. The use of cyclic rectification technology in the columns of bragorectificational plants is a relatively new approach for the intensification of the mass transfer process in alcohol production. Implementation of controlled cycles of liquid retention on the plates allows to prolong the time of its contact with vapour, to create conditions in order to achieve a phase state close to equilibrium and to bring the efficiency of each real plate closer to the theoretical one (Maleta, Shevchenko,

Bedryk & Kiss, 2105). In such conditions, the driving force of the mass transfer process increases due to the increase in the concentration gradient of volatile components, improves the diffuse characteristics of contact devices, increases the efficiency of their operation and reduces the specific flow rate of heating vapour (Bulii, Kuts & Shyian, 2019). These advantages of cyclic rectification are very attractive for implementation in production.

Analysis of recent research and publications. Research of physical and chemical conditions of separation of multicomponent systems in the process of cyclic rectification, development of rational methods of calculation and design of cyclic rectification columns on the basis of laws of thermodynamics, works on computer modeling of cycles with the purpose of intensification of mass exchange began in 60 s—70 s of the XX-th century. The scientific works of Whirter and Cannon, Sommerfield, Chien, Robinson and Angel, Schrodtt, Helperin, Beiron, Frezer, Thomson, Schioni, Anton Kiss, Matsubar and others are devoted to solving this problem (Kiss, 2015; Kiss, Flores, Landaeta & Zondervan, 2012; Nielsen, Huusom & Abildskov, 2017). The results showed that in cyclic mode vapour consumption in process of mass transfer between liquid and vapour was reduced by 38-40%. A lot of scientific works of outstanding scientists are devoted to energy saving, increase of efficiency of mass exchange on cyclic plates and nowadays. The studies conducted by V. P. Krivosheev, A. V. Anufriev, M. I. Farakhov, S. B. Azizov, H. R. Flodman, M. Matsubara, M. Petrus, etc. are noteworthy (Flodman & Timm, 2012; Lita, Bildea & Kiss, 2012, Krivosheev & Anufriev, 2015). At department of processes and devices of National university of food technologies under the direction of professor Taran V. M. theoretical bases of cyclic rectification are developed, designs of column apparatuses are offered, which action allowed to provide separate movement of phases in a rectification column, to intensify process of mass exchange by retention of liquid on plates (Maleta, Taran & Maleta, 2010).

Despite the obtained positive results on reduction of energy consumption, known methods and models did not find wide practical application due to lack of mass transfer during overflow of liquid, dependence of operation of overflow devices on vapour pressure, pressure fluctuations in a collector, impossibility to stabilize hydrodynamic mode of plate operation, liquid mixing on adjacent plates during its overflow, low throughput of column mass exchange apparatuses and complexity of constructive decisions.

Innovative rectification technology (patent UA 141245. Method of overpouring the liquid on the plates of mass-exchange column apparatus) excluded mentioned disadvantages and ensured periodic liquid pouring from one plate to another at continuous supply of liquid and heating vapour into the column. The design of a rectification column equipped with plates with variable free cross-section was developed (patent UA 139228. Column mass-exchange apparatus of cyclic action) to implement the technology. These include mesh, tubular, wavy, scaly and other plates. Simplicity of design, low cost of manufacturing and installation, rather small hydraulic resistance are advantages of perforated plates. The main drawback is the short interval of change of speeds of vapour and liquid within which their steady and effective work,

insufficient time of contact of phases, and also mixing of liquid on adjacent plates is supported.

Energy-saving rectification technology involved the implementation of controlled liquid retention cycles on the perforated plates and its periodic overflow through all holes from the top plates to the bottom plates due to instantaneous changes in vapour velocity. While the liquid was on the plates, there were a mass-exchange between the liquid and the vapour, which went through the contact device holes. During this cycle period, the movable valve closed the overflow port and the liquid is held on the plate. When the overflow hole was opened, the vapour velocity in the barbotage holes becomes lower than the critical speed at which it is held on the plate and the liquid is transferred to the lower plates. The versatility of the operation of the barboted-perforated plates was in the alternation of the vapour velocity in the contact device holes by changing the free cross-section of the plates in a given range of values according to a given algorithm (Buliy, Shiyan & Kuts, 2016).

Purpose of the article was the definition of the hydrodynamic mode of operation of barbotage perforated plates and determination, of the efficiency of the technology of cyclic rectification in the mass-exchange columns equipped with barbotage perforated plates with variable free cross-section and determining the consumption of heating vapour in the rectificational and epyuratin columns.

Materials and methods. Analytical, chemical, physical and chemical methods of analysis were used, using instruments and methods that are used in the production of rectified ethyl alcohol. Liquid consumption was controlled with the help of flowmeter RM, air velocity in the free section of the column — by anemometer MS-13, in the holes of the plates — by calculation method. Analysis of research samples was performed according to the State Standard of Ukraine 4222:2003 “Vodka, ethyl alcohol and water-alcohol solutions. Gas chromatographic method for determination of microcomponents content” (Plutowska & Wardenski, 2008). The concentration of volatile impurities of alcohol was determined on a gas chromatograph with a column HP FFAP 50 m × 0.32 m.

Presentation of the main material. Efficiency of operation of barbotage perforated plates in the conditions of cyclic rectification depends on the adopted hydrodynamic regimes that determine the boundaries of constant operation of columns mass exchange apparatuses. The necessary condition for their determination is the establishment of the maximum allowable vapour velocity (upper and lower critical velocity) in the free section of the column and in barbotage holes.

The lower limit corresponds to the vapour velocity at which the “sink” of the liquid from the upper plates to the lower ones stops, the upper limit corresponds to the vapour velocity at which the liquid from the lower plates begins to drift to the upper ones, which leads to a reduction of the phase contact surface. The research was carried out on an experimental rectification column equipped with replaceable contact devices — meshes and scales in the water-air system. Characteristics of the column were as follows: diameter — 300 mm; number of plates — 5 pcs.; distance between plates — 300 mm; diameter of barbotage holes — 2.4 mm; area of section of holes of arched type scales — 19.42 mm²; thickness of the cloth of the plate — 2 mm; free section of a plate — 2.6%; height of a layer of liquid on plates — 35 mm. For the meshes plates the air flow rate was changed in the range of 1—15 dm³/s,

which corresponded to the change of speed in the barbotage holes of 1.5—10 m/s, the irrigation density fluctuated in the range of 4—11 m³/(m²/h). For scales plates the irrigation density varied from 5 to 15 m³/(m²/h).

It is known that in order to increase the efficiency of plate of various designs it is advisable to delay the liquid on their canvas by organizing the flow of separate vapor-liquid jets with mutual collision of jets or additional installation of partitions and reflectors. The studies conducted in this direction by V. P. Krivosheev, A. V. Anufriev, M. I. Farakhov, S. B. Azizov, A. A. Kiss, H. R. Flodman, M. Matsubara, M. Petrus and others deserve attention (Buliy, Shiyan, Kuts & Melnic, 2019; Van Gerven & Stankiewicz, 2009). Devices in the form of orifices, nozzles, etc. have been proposed to inhibit fluid movement. The free cross-sectional area of the holes with counter vapour flow was 2—3% of the total area of the plate. Vertical baffles were installed in parts of the plate to increase the duration of vapour-liquid contact and intensify mass transfer. Contact devices with partial compensation of direct flow were first studied by A. N. Prokhorov.

The above described technologies and models, justified by mathematical modelling methods, did not exclude the shortcomings of known methods, so they did not find wide application in production conditions.

Innovative technology of cyclic rectification (patent UA 136560. Method of mass transfer between liquid and vapour in a column apparatus) allowed to exclude these disadvantages and to solve the task. The design of columnar mass-exchange apparatus equipped with perforated plates of cyclic action was developed (patent UA 136561. Mass-exchange contact plate) to implement the technology. The method ensured a continuous supply of vapour and periodic overflow of liquid from plate to plate by means of forced operation of overflow devices containing moving elements connected to drive mechanisms. The column apparatus was equipped with mesh or flake plates with coaxial arrangement of scales. Such technical solution allowed to exclude unidirectionality of vapour and liquid flows over the whole area of the plate, and in case of separation of mixtures containing suspended particles (for example, in the distillation column), to exclude the possibility of formation of stagnant zones, sticking of suspended particles on the surface of the plates and thus to increase their service life without stopping for preventive work.

Plates of the experimental column were equipped by the rotary segments equipped with microprocessor pneumatics FESTO (connected to standard pneumocylinders of bilateral action of type DNT 63-50-PPV-A) which moved in turns according to the program of controller M340 (manufacturer “Schneider Electric”) for realization of the offered method and carrying out research. Movable segments opened and closed the overflow holes of the plates in such a way that the liquid overflow occurred periodically from top to bottom in the height of the column (Fig. 1).

The column includes plates 1 and rotary segments of plates 2 associated with the drive mechanisms 3. On the plates 1 and segments 2 flakes 4 are placed in such a way that the direction of the flakes arranged in one row is opposite to the direction of the scales located in adjacent rows. The mass exchange contact plate works as follows: liquid enters on the sheet 1 of plate No. 1 through the overflow hole, which is formed after the opening of the rotary segment 2; during this period, the rotary segment of the web 1 of the plate No. 1 is closed for a specified period of time; from

the bottom upwards, heating vapour flows continuously through the flakes' slots and comes into contact with the liquid on the plate web. Mass exchange between liquid and steam takes place in barbotage mode. After the set time of liquid delay, the moving segment 2 of plate No. 1 is opened, and the liquid is poured to the bottom of the plate through the hole, which was formed, and spilled through all the slots of the flakes (Krivosheev & Anufriev, 2015).

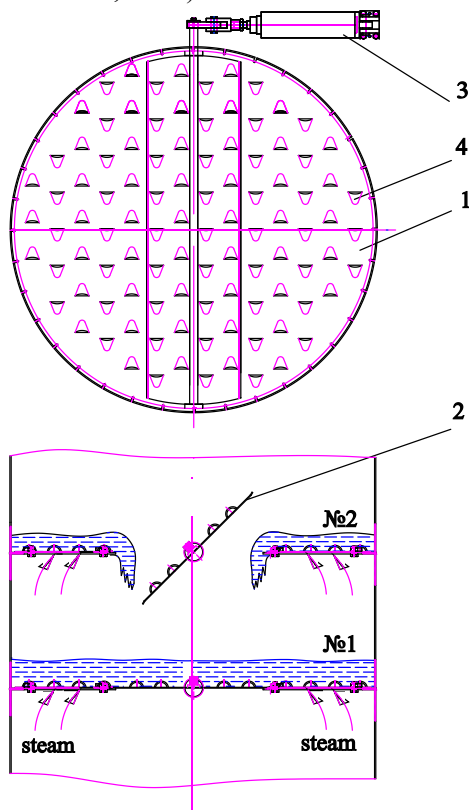


Fig. 1. Flake plate of cyclic action with coaxial arrangement of scales and a variable free cross section:

1 — plate; 2 — rotary segment; 3 — drive mechanism (FESTO pneumatic cylinder); 4 — flakes

At the first stage of research hydrodynamic modes of constant work of mesh and scaly plates in a mode of controllable cycles of a delay and overflow of liquid were established, maximum admissible values of speed of air in barbotage apertures and in a free section of a column at which the liquid was kept on plates and at which its carrying away (ejection) on the top plates began were defined. It was established that the lower critical air velocity in the barbotage openings of meshes plates (V_{hole}) was 5.4 m/s; the linear air velocity in the free section of the column (V_{lin}) — 0.25 m/s. For scales plates: V_{hole} was equal to 6.5 m/s; in barbotage mode of plate V_{lin} was 0.5—0.9 m/s, in transition — 0.9—1.3 m/s and in jet — 1.3—2.0 m/s.

At the second stage the air velocity in the barbotage holes (V_{drift}) was determined, at which the entrainment of liquid onto the upper plates began. In the columned

apparatus with meshes plates V_{drift} was 8 m/s; while V_{lin} was equal to 0.7 m/s; the relative value of liquid entrainment (e) did not exceed 0.01 kg per 1 kg of air. In the column with scales plates V_{lin} was equal to 1.3—1.5 m/s; in mode of barbotage — not more than 0.1 kg/kg, in jet mode — 0.2 kg/kg. Intense liquid overflow was observed at vapour speeds below critical. For perforated plates the vapour speed should not exceed 1.5—1 m/s. The obtained experimental data can be used in the development of mass transfer apparatus with perforated plates operating in a cyclic mode of rectification.

Research of efficiency of the offered technology was carried out in production conditions in processes of distillation of alcohol-containing fractions and epuration of distillate in a hydroselection mode. An experimental cyclic column with perforated plates was mounted for research (Fig. 2).

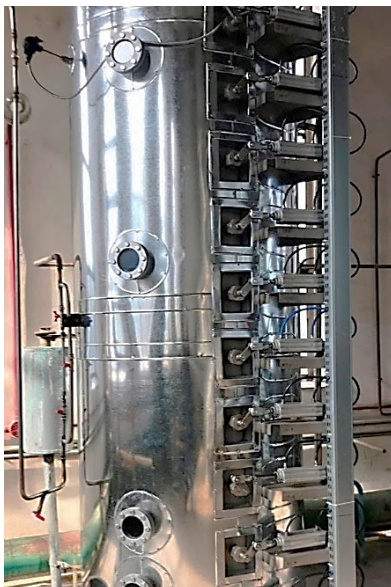


Fig. 2. Experimental column with controlled mass exchange cycles between liquid and vapour

The column had a diameter of 950 mm and was equipped with 30 flake plates. The distance between the plates was 300 mm. Rotating segments of the plates were connected to mechatronic subsystems, which were controlled by modern computer-integrated means.

During the periodic movement of the rotating segments overflow holes of the plates were alternately opened and closed according to the given algorithm in such a way that the overflow of liquid occurred cyclically along the height of the column from top to bottom with the continuous movement of vapour from bottom to top. When the overflow hole was opened by the movable segment, the free area of the plate instantly changed from 2.6 to 51.7%. As a result, the steam velocity in the barbotage openings became less than 1.5—1.0 m/s, and the liquid simultaneously overflowed through the overflow opening and all flakes. The technical solution made

it possible to intensify the overflow process, reduce the overflow time to 1—1.7 s and increase the throughput capacity of the column apparatus.

The main fraction of ethyl alcohol and the alcohol-containing fractions from the condensers of the distillation column, carbon dioxide separator, fusel alcohol, fusel rinse water and streams from alcohol traps were given to the power plate of the experimental overclocking column. The total supply volume was 688.3 dm³/h or 250 dm³/h in terms of anhydrous alcohol (a.a). The upper plate of the column continuously received hot softened water in the amount of 4050—4500 dm³/h for hydroselection of impurities. The specified water consumption provided concentration of ethyl alcohol in a cube liquid within the limits of 3.5—3.8% vol. Under such conditions, the rectification coefficient of all impurities of alcohol (including higher alcohols of fusel oil) exceeded one, and impurities were effectively released. The cube liquid released in the process of distillation from volatile impurities was supplied to the upper zone of the concentration part of the epyrating column for double hydroselection of main impurities and effective extraction together with the head fraction of isopropyl alcohol. Such a solution allowed to reduce the consumption of hot softened water for hydroselection of impurities to 2000 dm³/h. The retention time of the liquid on the plates was 40—60 s, the time of its overflow was 1—1.7 s. The pressure in the cub part of the column was maintained within 1.15—1.20 meters of the water column, the temperature was 100.5—101°C, the temperature above the upper plate was 93.5—94 °C. Aldehyde-methanol concentrate was taken from the upper stage condenser in the amount of 7—9 dm³/h. Esters and higher alcohols of fusel oil were taken out from the upper decanting zone in the form of ester-fusel concentrate in the amount of 2—3 dm³/h after the separation of the water-alcohol mixture. Aldehyde-methanol and fusel ester-aldehyde concentrates were mixed in the admixture concentrate collector.

During the research, samples of feed (*F*), cube liquid (*CL*), impurities concentrate (*IC*), epyrate (*E*), main fraction (*MF*) and rectified ethyl alcohol (*RA*) were taken. The results of chromatographic analysis of the research samples and calculated values of the extraction degree (α) and multiplicity of concentration (β) of volatile alcohol impurities at the operation of the perforated plates in the selected hydrodynamic mode, and the rectificational column at the above technological parameters are given in Table 1.

Table 1. The results of the chromatographic analysis of the test samples and the calculated values of the degree of extraction (α) and the multiplicity of concentration (β) of volatile impurities of alcohol

A group of impurities	Concentration, mg/dm ³ in terms of a.a.						α	β
	<i>F</i>	<i>CL</i>	<i>IC</i>	<i>E</i>	<i>MF</i>	<i>RA</i>		
Ethanol, % vol.	30.5	3.7	67	30.1	92.5	96.5	8.2	2.2
Aldehydes	318.6	2.75	2302	0.29	1135	0.18	115.9	7.2
Esters	40.5	—	448615	—	2395	—	∞	11077
Methanol, %	0.18	0.0003	2.69	0.0023	0.49	0.0003	600	14.9
Fusel oil	105882	726.9	726463	1179.8	3113	0.88	145.7	6.9

The analysis of the received results showed that at prolongation of time of stay of liquid on flakes plates up to 40 s esters and isopropyl alcohol were completely

removed. It is known that the quality and power of distillation installations are estimated by the content of isopropanol. The degree of extraction of higher alcohols of fusel oil and methanol increased by 38%, the multiplicity of concentration of main impurities increased by 25%, of upper intermediate impurities — by 40%, of final impurities — by 37% in comparison with a typical installation operating in stationary mode. It was established that in the cyclic mode of rectification the specific consumption of heating vapour in the process of distillation of alcohol-containing fractions decreased from 25 to 15 kg/dl a.a., introduced on the feeding plate, and in the process of epyuration of distillate — from 15 to 8.2 kg/dl a.a. in comparison with column apparatuses operating in stationary mode. After inclusion of an experimental rectificational column in the scheme of distillation installation the output of distilled ethyl alcohol increased by 3.8%. According to all indicators, the obtained ethyl distilled alcohol met the requirements for the variety “Lux” (Maleta, Taran, Maleta, 2010).

The rectificational column of cyclic action operates effectively in the specified hydrodynamic mode and the specified technical and technological parameters under production conditions and at the present time. The expected payback period of the rectificational column with controlled mass exchange cycles between liquid and vapour does not exceed 5 months.

Conclusion

1. It is advisable to equip rectificational columns of cyclic action with barbotage plates with variable free cross-section, the segments of which are connected to mechatronic systems. Experimental data of the maximum permissible vapour velocity in the free section of the column and in barbotage holes of meshe and flakes plates during the period of mass exchange and liquid overflow were obtained.

2. It was established that the increase of the time of liquid stay on the plates up to 40—60 s in the chosen hydrodynamic mode allowed to increase the degree of extraction and the multiplicity of concentration of main, intermediate and final impurities by 25—40%, and the instantaneous change of the vapour speed in the barbotage holes below the critical one allows to reduce the liquid overflow time to 1—1.7 s and thus to increase the throughput of the column apparatus by 34%.

3. Due to the increased phase contact time, the specific heating vapour consumption in the processes of distillation of alcoholic fractions and epyuration of fermented distillate was reduced by at least 36% in comparison with column installations operating in stationary mode.

4. The expected payback period of the proposed energy-saving mass transfer column apparatuses of cyclic action does not exceed 5 months.

References

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

Bulii, Yu. V., Kuts, A. M., Shyian, P. L. (2019). Pidvyshchennia ekspluatatsiinykh kharakterystyk masoobminnykh kolonnykh aparativ tsyklichnoi dii. *Naukovi pratsi NUKhT*, 25(5), 48—54.

- Kiss, A. (2015). Pilot-scale studies of process intensification by cyclic distillation. *AIChE Journal*, 61, 2581—2591.
- Kiss, A. A., Flores, Landaeta, S. J., Edvin Zondervan, C. J. (2012). Cyclic distillation — towards energy efficient binary distillation. *Chemical Engineering and Chemistry*, 30, 697—701.
- Rasmus, Fjordbak Nielsen, Jakob, Kjøbsted Huusom, Jens, Abildskov (2017). Driving Force Based Design of Cyclic Distillation. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 56(38), 10833—10844.
- Flodman, H. R., Timm, D. C. (2012). Batch distillation employing cyclic rectification and stripping operations. *ISA Transactions*, 51, 454—460.
- Lita, I., Bildea, C. S., Kiss, A. A. (2012). Modeling, design and control of cyclic distillation systems. *Procedia Engineering*, 42, 1311—1322.
- Krivosheev, V., Anufriev A. (2015). Fundamentals and efficiency of cyclic modes of rectification process. *Scientific Journal of Basic Research*, 11(2), 267—271.
- Maleta, B. V., Taran, V. N., Maleta, V. N. (2010). Spivstavlennia tsyklichnoho ta statsionarnoho protsesu rektyfikatsii. *Naukovi pratsi NUKhT*, 33, 95—97.
- Buliy, Y., Shiyan, P., Kuts, A. (2016). Distillation of alcoholic distillate in controlled cycles mode. *Food Science for Well-being (CEFood 2016): 8th Central European Congress on Food 2016*, Kyiv, NUFT, 230.
- Plutowska, B., Wardenski, W. (2008). Application of gas chromatography-olfactometry (GC-O) in analysis and quality assessment of alcoholic beverages — a review. *Food Chemistry*, 107, 449—463.
- Buliy, Y., Shiyan, P., Kuts, A., Melnic, I. (2019). Technology of cyclic rectification of alcohol production. *Journal of Food Science and technology*, 13(4), 104—111.
- Van Gerven, T., Stankiewicz, A. (2009). Structure, energy, synergy, time — the fundamentals of process intensification. *Ind Eng Chem Res*, 48, 2465—2474.

IMPROVEMENT OF HEAT AND MASS EXCHANGE EQUIPMENT FOR VEGETABLE PROCESSING

O. Cherevko, V. Mykhaylov, A. Zahorulko, O. Zagorulko

State Biotechnological University

Key words:

Concentration
Heating
Resource efficiency
Heat and mass transfer equipment
Vegetable raw materials

Article history:

Received 09.09.2021
Received in revised form
21.09.2021
Accepted 04.10.2021

Corresponding author:

A. Zahorulko

E-mail:

zagorulko.andrey.
nikolaevich@gmail.com

ABSTRACT

Heat and mass transfer equipment has been improved, namely the design of a heater and a rotary film evaporator for processing vegetable raw materials into a paste. The heater on the basis of bilateral heating by a flexible film resistive electric heater of radiating type (FFREHRT) allows to eliminate a constructive component of steam heat carriers in the conditions of providing stabilized and uniform heating of raw materials. The device can be used in the temperature range of food processing — 15...110°C. The heater is characterized by a decrease in technical and technological parameters, namely 6 times the specific metal content compared to the basic design (26 kg/m², respectively, up to 160 kg/m²). It provides a reduction in heat consumption for heating the device, which is — 1372.8 kJ, compared to the basic heater — 8448 kJ.

An improved model of a rotary film evaporator (RFE) with the proposed cutting blade, equipped with an autonomous heating system of the reflective surface by converting the energy of the secondary vapor of Peltier elements into the supply voltage of the heaters. The area of the reflective surface of the advanced cutting blade is 0.06 m² and requires ~15...20 W of power for autonomous operation of FFREHRT. This will provide additional heating, mixing and trapping of the layer of raw material to be cut.

The calculated resource efficiency indicators were obtained: specific energy consumption for heating the volume of the unit of product in RFE — 408 kJ/kg, in comparison with the basic vacuum evaporator (VE) — 1019 kJ/kg. This provides the following duration of heat treatment: RFE — 60 s and 1 hour in the base VE, respectively, which has a significant reduction in temperature exposure to raw materials.

The introduction of advanced equipment in the production line of vegetable semi-finished products will ensure high-quality products, reduce resource costs and expand the range of products of organic origin.

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕПЛОМАСООБМІННОГО ОБЛАДНАННЯ ПЕРЕРОБКИ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

О. І. Черевко, В. М. Михайлов, А. М. Загорулько, О. Є. Загорулько
Державний біотехнологічний університет

У статті удосконалено тепломасообмінне обладнання, зокрема конструкцію підігрівача та роторного плівкового випарника для переробки рослинної сировини в пасту. Підігрівач на основі двостороннього нагрівання гнучким плівковим резистивним електронагрівачем випромінювального типу (ГПРЕНВТ) дає змогу ліквідувати конструктивну складову парових теплоносіїв в умовах забезпечення стабілізовано-рівномірного нагрівання сировини. Апарат може використовуватися в температурному діапазоні обробки харчової сировини в межах 15...110°C. Підігрівач характеризується зменшенням техніко-технологічних показників — у 6 разів питомої металоемності порівняно з базовою конструкцією (26 кг/м², відповідно, до 160 кг/м²). Забезпечується зменшення витрати теплоти на нагрівання апарата, яке становить — 1372,8 кДж, порівняно з базовим підігрівачем — 8448 кДж.

Удосконалена модель роторного плівкового випарника (РПВ) із запропонованою зрізувальною лопаттю, забезпеченою автономною системою обігрівання відбивальної поверхні за рахунок перетворення енергії вторинної пари елементами Пельтьє в напругу живлення нагрівачів. Площа відбивальної поверхні вдосконаленої зрізуючої лопаті становить 0,06 м² та потребує ~15...20 Вт живлення для автономної роботи ГПРЕНВТ. Це забезпечить додаткове нагрівання, перемішування та вловлювання шару сировини, що зрізується.

Отримані розрахункові показники ресурсоефективності: питомі витрати енергії на нагрівання об'єму одиниці продукту в РПВ — 408 кДж/кг, порівняно з базовим вакуум-випарним апаратом (ВВА) — 1019 кДж/кг. При цьому забезпечується така тривалість термічної обробки: РПВ — 60 с та 1 год у базовому ВВА, відповідно, що має суттєво зниження температурного впливу на сировину.

Впровадження удосконаленого обладнання в лінії виробництва рослинних напівфабрикатів забезпечить отримання високоякісної продукції, зменшення ресурсовитрат і розширення асортименту продукції органічного походження.

Ключові слова: концентрування, підігрів, ресурсоефективність, тепломасообмінне обладнання, рослинна сировина.

Постановка проблеми. Розвиток харчової індустрії України із запровадженням інноваційних рішень виробництва різноманітної продукції з мінімальним внеском органічної сировини на сьогодні не забезпечує повною мірою попиту на неї населення України та європейських країн. Це пов'язано зі щоденним зростанням потреб населення в природних органічних продуктах харчування. Зростання попиту на споживання високоякісної природної органічної сировини обумовлює доцільність пошуку інноваційних підходів з інтенсифікації технологічних тепломасообмінних процесів та обладнання для реалізації (Шкуратов, Дребот &

Чудовська, 2014; Коваленко, 2014). Виробництво продуктів харчування з такої сировини потребує особливого підходу до неї одразу ж після її збирання у зрілому стані. Недотримання технологічних режимів, починаючи з перевезення та закінчуючи реалізацією кінцевої продукції, призведе до неминучої втрати корисних природних властивостей (Назарова, 2014). Від конструктивно-технологічних особливостей тепломасообмінних процесів залежить подальша харчова цінність отримуваної продукції.

До найбільш поширених тепломасообмінних процесів із переробки природної органічної сировини належать: витримування, бланшування, уварювання, розварювання, розчинення та концентрування. Кожна зазначена операція є особливою з точки зору її реалізації. У більшості випадків вона потребує використання високопродуктивного та металоємного обладнання. Проте інколи таке обладнання не забезпечує високої якості отримуваної продукції та потребує складних інженерно-технічних комунікацій.

Тому актуальним завданням є конструктивне рішення сучасного енерго- та ресурсозберігаючого обладнання для проведення тепломасообмінних процесів при переробці природної органічної сировини. Це, у свою чергу, забезпечить конкурентоспроможність органічної високоякісної продукції, зменшення втрат сировини та ресурсовитрат на виробництво, що значною мірою сприятиме розширенню асортименту продукції органічного походження в різноманітних продуктах харчування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Органічні продукти харчування мають величезний попит на ринках європейських країн. Це обумовлює модернізацію існуючого технологічного обладнання в умовах розвитку невеликих фермерських і готельно-ресторанних підприємств. Головною проблемою під час первинної переробки органічної сировини є тепломасообмінна обробка зі збереженням корисних речовин. Важливу роль у такому разі має використовуване обладнання, яке в більшості випадках є одноопераційним, що значною мірою ускладнює універсальність його використання. Вирішення цього питання обумовлює необхідність в інноваційному підході до вирішення технологічно-конструктивних завдань зі створення ресурсоефективного обладнання (Тележенко & Безусов, 2004).

Сьогодні використовуються різноманітні види обладнання для проведення тепломасообмінних процесів природної сировини, серед них: підігрівачі, бланшувачі, витримувачі, випарні апарати. У більшості випадків це обладнання має високу продуктивність і характеризується безперервністю проведення технологічних процесів зі складними технічними комунікаціями та складністю обслуговування (Черевко & Поперечний, 2002).

Операція розварювання використовується для розм'якшення природної структури сировини, що сприяє збереженню тканинної цілісності, соковитості, яскравішого забарвлення м'якоти перед протиранням для виготовлення в подальшому, наприклад, пюреподібних напівфабрикатів. У (Гладушняк, 2015) наведені результати дослідження його реалізації шляхом подавання пари в робочу ємність та встановлено, що втрати теплоти через витік теплоносія становлять у середньому

5...95% залежно від конструктивної особливості апаратів. Тож залишилися невисвітленими питання щодо можливості шляхів інтенсифікації процесу і досягнення зниження енерго- та металовитрат. Усе це дає змогу стверджувати, що доцільними є подальші науково-практичні дослідження в напрямку зниження енерго- та ресурсовитрат.

Вищезазначене свідчить, що більшість тепломасообмінних процесів та існуюче технологічне обладнання для його реалізації характеризуються загальними конструктивно-технологічними недоліками, серед яких одноопераційність, енерго- та металоємність, складність технічних комунікацій, використання й обслуговування. Одним із шляхів вирішення цих труднощів є впровадження сучасних інноваційних конструктивно-технологічних рішень стосовно ресурсоефективного підходу до створення сучасних вимог на підприємствах харчової промисловості для виробництва високоякісної, конкурентоспроможної продукції. Це можливо досягти шляхом запровадження тепломасообмінного обладнання переробки рослинної сировини зі зменшеними габаритно-ваговими характеристиками та спрощеними експлуатаційними властивостями.

Метою дослідження є удосконалення тепломасообмінного обладнання для переробки рослинної сировини зі зменшеною металоємністю за рахунок зміни способу теплопідведення, що сприятиме зниженню енергоресурсів і підвищенню якості продукції, що виготовляється.

Викладення основних результатів дослідження. Наявне на ринках України тепломасообмінне обладнання переважно має певні конструктивно-технологічні недоліки, пов'язані зі збільшеною метало- та енергоємністю технічних мереж, наявністю оболонки й теплогенераторів для підтримання властивостей теплоносіїв. Це, у свою чергу, дає змогу визначити інноваційні ресурсоефективні передумови для його вдосконалення при ліквідації теплоносіїв з подальшим застосуванням температурно-стабільних гнучких плівкових резистивних електронагрівачей випромінювального типу (ГПРЕНВТ) з без- і термоізоляційною поверхнею (Загорулько & Загорулько, 2015).

Для реалізації процесу підігрівання рослинного пюре перед його концентруванням вдосконалено модельний двотрубний підігрівач типу «труба в трубі» з використанням як нагрівальних поверхонь ГПРЕНВТ та збільшеною поверхнею теплообміну. Підігрівач (рис. 1), що має горизонтально розташовані циліндричні труби 1, зовнішня поверхня яких обігрівается ГПРЕНВТ 2 з термоізоляційною поверхнею. Для забезпечення збільшення поверхні теплообміну та підвищення якості проведення процесу внутрішня частина горизонтальних труб додатково обладнана порожнистими трубами 3, внутрішня поверхня яких обігрівается додатково без ізоляційним ГПРЕНВТ 4. З'єднання горизонтальних секцій 1 здійснюється за рахунок колін 5 з гумовими ущільнювачами та болтовими фіксаторами 6.

Підігрівач оснащений технічними утримувачами секцій 11 та має патрубки для подавання 7 та відведення 9 харчової сировини, утворюючи таким чином безперервність і прямотечію оброблювальної продукції. Для фіксування та цен-

трування внутрішня порожниста труба 3 розташовується на тримачах 8, які оснащені розділювачами рідинного потоку, забезпечуючи у такий спосіб додаткову турбулізацію потоків.

За рахунок повторення геометричної форми циліндричних поверхонь 1, 3 — ГПРЕНВТ (2, 4) забезпечується чітке стабілізовано-рівномірне тепловідведення для проведення якісного процесу в умовах зменшення металоємності та збільшенні поверхні теплообміну. Так зменшуються витрати на підігрів теплоносіїв, їх транспортування й обслуговування.

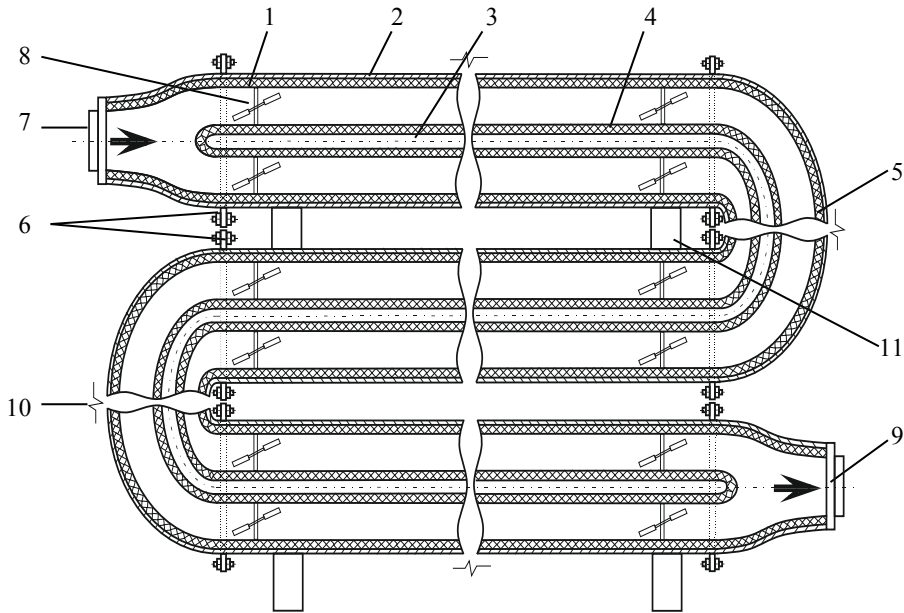


Рис. 1. Схема вдосконаленого підігрівача типу «труба в трубі»: 1 — горизонтальні циліндричні труби; 2, 4 — гнучкий плівковий резистивний електронагрівач випромінювального типу з термо- та безізоляційною поверхнею (ГПРЕНВТ); 3 — внутрішня порожниста труба; 5 — з'єднувальні коліна горизонтальних секцій з гумовими ущільнювачами; 6 — болтові фіксатори фланців; 7, 9 — патрубки подавання та відведення сировини; 8 — тримач внутрішньої труби (3) з розділювачами рідинного потоку; 10 — умовне позначення розрізу колін і циліндричних труб (оскільки може бути різна кількість секцій, які не позначені на рис. залежно від потрібної продуктивності); 11 — технічний тримач секцій

Розрахунковим шляхом встановлено, що питома металоємність удосконаленого підігрівача у 6 разів менша порівняно з базовою конструкцією. Тривалість підігрівання пюре за температури 45...50°C становить 28 с, а в базовому апараті 50 с відповідно, що у 1,8 раза менше. Скорочення тривалості термічної обробки дасть змогу отримувати якісну продукцію в умовах зменшених витрат теплоти на нагрівання конструкції апарата — 1372,8 кДж порівняно з базовим апаратом (8448 кДж). Основні технічні параметри вдосконаленого підігрівача на базі ГПРЕНВТ наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Технічні параметри вдосконаленого безперервного підігрівача

Технічний параметр	Значення
Площа нагрівальної поверхні, м ²	2,0
Продуктивність кг/с	0,024...0,32
Температурний діапазон теплопередавальної поверхні з ГПРЕнВТ, °С	від 15...110
Швидкість сировинного потоку, v, м/с	0,03...0,40
Вага (без завантаження), кг	52

Отримані науково-практичні результати досліджень дають змогу навести основні техніко-експлуатаційні показники вдосконаленої безперервної установки «труба в трубі» на базі двостороннього обігрівання ГПРЕнВТ, які підтверджують ефективність запропонованих інженерних рішень з гарантованою можливістю подальшого впровадження конструкторської розробки в різних напрямках харчових і фармацевтичних галузей. Слід відзначити, що така конструкція може бути використана як підігрівач рідинних фаз у межах температурного діапазону — 15...110°C із забезпеченням швидкості потоку, що обробляється в межах 0,03...0,40 м/с. Використання апробованої конструкції вдосконаленої безперервної установки «труба в трубі» способом двостороннього обігрівання ГПРЕнВТ забезпечить ресурсоефективне конструктивно-технологічне переоснащення багатьох підприємств в умовах досягнення стабілізовано-рівномірного пастеризаційного процесу. Це, у свою чергу, дасть змогу підприємствам отримувати високоякісну продукцію для підтримування конкурентоспроможності ринкових відносин.

Для реалізації процесу концентрування вдосконалена модель роторного плівкового випарника (рис. 2а) із запропованою зрізувальною лопаттю, що забезпечена автономною системою обігрівання відбивальної поверхні, представлена на рис. 2в. Використання як обігрівача вертикальної робочої камери 1, гнучкого плівкового резистивного електронагрівача випромінювального типу (ГПРЕнВТ) 2, замість парової оболонки та відповідних технічних магістралей до неї, забезпечить енергоефективність конструкції та процесу. Для підвищення коефіцієнта теплообміну процесу концентрування запропоновано використовувати вдосконалену зрізуючу лопать, оснащену автономною системою обігрівання відбивальної поверхні (II, рис. 2б), за рахунок використання вторинної енергії пари утвореної при концентруванні. Вторинна пара надходить із внутрішнього простору з вертикальної робочої камери 1 до сепаруючого простору 6, який має внутрішнє конструктивне звуження для розміщення елементів Пельтьє 9. Елементи Пельтьє перетворюють теплоту вторинної пари в низьковольтну напругу живлення для подальшого її використання в автономній роботі з обігрівання відбивальної поверхні запропонованої шарнірної лопаті 3 в умовах використання ГПРЕнВТ 2.

Дослідно-конструктивним шляхом виявлено генерування напруги живлення елементами Пельтьє при досягненні температури вторинної енергії на рівні 30°C. Також встановлена ефективна площа відбивальної поверхні розробленої шарнірної лопаті для забезпечення раціонального коефіцієнта теплообміну (0,06 м², з потужністю живлення ГПРЕнВТ ~15...20 Вт). При цьому зрізуюча лопать шарнірно розміщена на роторі 4, що обертається від клино-пасової передачі 8 та

забезпечує рушійну відцентрову силу плівкової течії сировини. Плівковий шар сировини утворюється нагнітанням її крізь патрубок 10 на розподільчий механізм 5 для формування необхідної товщини шару купаженого пюре. Концентрування пюре здійснюється при тиску 12...15 кПа у вертикальній робочій камері з подальшим відведенням концентрату крізь патрубок 11, а залишки вторинної пари надходять до магістралі відведення конденсату 7.

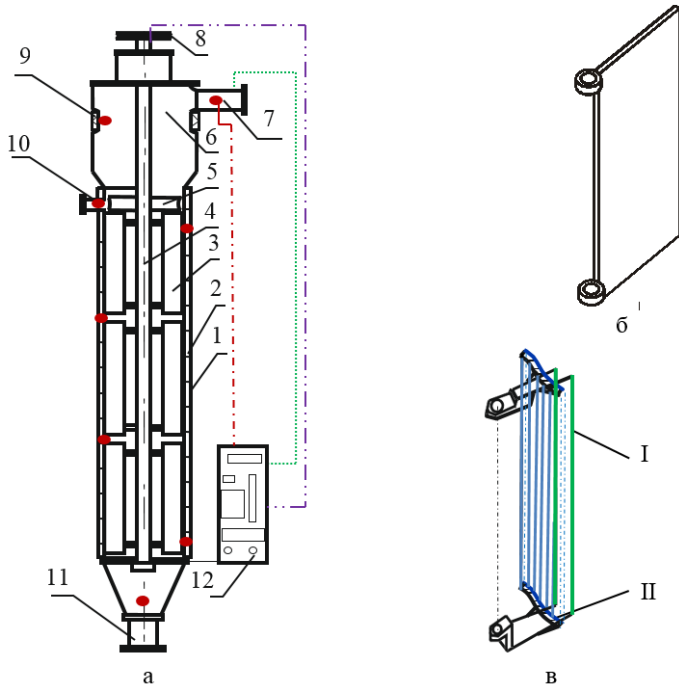


Рис. 2. Удосконалений роторний плівковий випарник: а — схема модельної конструкції: 1 — робоча камера; 2 — гнучкий плівковий резистивний електронагрівач випромінювального типу з теплоізолюючою зовнішньою поверхнею (ГПРЕНВТ); 3 — шарнірна лопать забезпечена автономною системою обігрівання відбивальної поверхні; 4 — ротор; 5 — розподільчий механізм; 6 — сепаруючий простір; 7 — магістраль відведення конденсату; 8 — клино-пасова передача; 9 — елементи Пельтьє; 10 — патрубок нагнітання купаженого пюре; 11 — патрубок відведення концентрату; 12 — блок керування технологічними параметрами апарата; б — базова конструкція прямокутної лопаті; в — зрізуюча лопать забезпечена автономною системою обігрівання відбивальної поверхні: I — зрізуюча кромка; II — відбивальна поверхня, що автономно обігрівается

Керування тепломасообмінним процесом здійснюється за рахунок блоку керування 12, що забезпечує чітке регулювання: частоти обертання ротора ($\dot{\cdot}$), тиску (\dots), температури ($-\cdot-$), концентрування при використанні автоматичних засобів контролю «Овен».

Для визначення ефективності вдосконаленого роторного плівкового випарника проведено порівняльну характеристику витрат енергії на концентрування купаженої пюреподібної суміші на основі: яблука, лохини та кизилу з початко-

вим вмістом сухих речовин 12% до кінцевого — 30%. Під час розрахунків вхідними даними є витрата продукту, питома теплоємність сировини та матеріалу робочої поверхні апарата (нержавіюча сталь), а також конструктивні параметри базового вакуум-випарного апарата (ВВА) та РПВ (вага, площа нагрівальної поверхні). Розрахунки проводилися без урахування витрат у навколишнє середовище.

Установлено, що основний показник ресурсоефективності, зокрема питомі витрати енергії на нагрівання об'єму одиниці продукту в РПВ, складають 408 кДж/кг (табл. 1). Отриманий показник порівняно з базовим ВВА (1019 кДж/кг) свідчить про зменшення витрат у вдосконаленому РПВ в 1,97 раза.

При цьому забезпечується така тривалість термічної обробки: РПВ — 60 с та 1 год у базовому ВВА, відповідно, що має суттєво зниження температурного впливу на сировину.

Під час експериментально-практичних досліджень отримані основні техніко-експлуатаційні показники (табл. 2) вдосконаленого роторного плівкового випарника, оснащеного зрізувальною лопаттю з автономною системою обігріву відбивальної поверхні.

Таблиця 2. Основні технічні характеристики і техніко-економічні показники РПВ

Продуктивність по вихідному продукту, кг/год	100
Площа поверхні теплообміну, м ²	0,82
Внутрішній діаметр, м	0,2
Тиск в апараті, кПа	12...15
Температура робочого середовища в апараті, °С, не більш	63...68
Число обертів ротора апарата, хв ⁻¹	180...200
Напруга, В	220±10%
Регулювання потужності електронагрівачів	плавне
Габаритні розміри: д:ш:в, мм	330:280:1680
Маса, кг, не більш	43
ККД	0,85
Металоємність, m_n , кг/м ²	52,5
Питомі витрати теплоти, q_n , кДж/кг	517

Отримані дані підтверджують ефективність його подальшого впровадження в технологічні лінії виробництва плодоовочевих напівфабрикатів.

Висновки

Удосконалена конструкція безперервного підігрівача на основі двостороннього нагрівання ГПРЕНВТ, що дає змогу ліквідувати конструктивну складову необхідної наявності рідинних і парових теплоносіїв в умовах забезпечення стабілізовано-рівномірного нагрівання всього об'єму сировини. Апарат може використовуватися як підігрівач із забезпеченням температурного діапазону тепломасообмінної обробки харчової сировини в межах температурного діапазону — 15...110°С. Підігрівач характеризується зменшенням техніко-технологічних показників — у 6 разів питомої металоємності порівняно з базовою конструкцією (26 кг/м², відповідно, до 160 кг/м²). Забезпечується зменшення витрати теплоти на нагрівання

апарата, яке становить 1372,8 кДж, порівняно з витратами в базовому підігрівачі — 8448 кДж.

Вдосконалена модель роторного плівкового випарника із запропонованою зрізувальною лопаттю, забезпеченою автономною системою обігрівання відбивальної поверхні за рахунок перетворення енергії вторинної пари елементами Пельтьє в напругу живлення нагрівачів. Площа відбивальної поверхні вдосконаленої зрізуючої лопаті становить 0,06 м² та потребує ~15...20 Вт живлення для автономної роботи ГПРЕНВТ. Це, у свою чергу, забезпечить додаткове нагрівання, перемішування й уловлюванню шару сировини, що зрізується, і призводить до зменшення корисної поверхні робочої камери на 7%.

Отримані розрахункові показники ресурсоефективності: питомі витрати енергії на нагрівання об'єму одиниці продукту в РПВ — 408 кДж/кг, порівняно з базовим ВВА — 1019 кДж/кг, характеризуючи зменшення витрат у вдосконаленому РПВ в 1,97 раза. При цьому забезпечується така тривалість термічної обробки: РПВ — 60 с та 1 год у базовому ВВА, відповідно, що має суттєво зниження температурного впливу на сировину.

Література

Гладушняк, О. (2015). Технологічне обладнання консервних заводів: підручни. Херсон: Грінь Д. С.

Загорулько, А., Загорулько, О. Гнучкий плівковий резистивний електронагрівач випромінюючого типу. (2015). (Патент України № 108041). <https://uapatents.com/5-108041-gnuchkijj-plivkovijj-rezistivnijj-elektronagrivach-viprominyuyuchogo-tipu.html>.

Коваленко, Т. (2014). Виробництво органічної сільгосппродукції та сировини. Взято з <http://agro-business.com.ua/agro/u-pravovomu-poli/item/1858-vyrobnytstvo-orhanichnoi-silho-spproduktsii-ta-syrovyny.html>.

Назарова, Л. (2014). Стан харчової промисловості України та перспективи підприємств галузі на зовнішніх ринках. Взято з [http:// globalnational.in.ua](http://globalnational.in.ua).

Тележенко, Л., & Безусов, А. (2004). Биологически активные вещества фруктов и овощей: сохранение при переработке. Одесса: Монография. Оптимум.

Черевко, О., & Поперечний, А. (2002). Процеси і апарати харчових виробництв. Харків: ХДУХТ.

Шкуратов, О., Дребот, О., & Чудовська, В. (2014). Концепція розвитку органічного землеробства в Україні до 2020 року. Київ: ТОВ «Екоінвестком».

STUDY OF MASS TRANSFER PROCESSES DURING THE *CALENDULA OFFICINALIS* FLOWERS EXTRACTION

L. Avdieieva, A. Makarenko, E. Zhukotskyi

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

V. Pavlik

NTUU "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Key words:

Plant extracts
Hydrodynamic cavitation
Mass transfer processes
Venturi nozzle
Calendula officinalis

Article history:

Received 17.09.2021
Received in revised form
30.09.2021
Accepted 12.10.2021

Corresponding author:

L. Avdieieva

E-mail:

tbds_itf@ukr.net

ABSTRACT

The article analyzes the results of research of mass transfer processes during water extraction of dry substances from medicinal plant raw materials, namely — *calendula officinalis*, which is a rich source of biologically active substances. The data of the last researches concerning problems of carrying out the process of extraction of biologically active substances from vegetable raw materials, traditional and more modern methods were analyzed. The data of the scientific literature on the prospects of using hydrodynamic cavitation for the highly efficient extraction of biologically active components from plant raw materials are summarized.

The results of experimental studies of the kinetics of mass transfer processes in obtaining aqueous extracts from medicinal plant raw materials of calendula (*Calendula officinalis*) with different parametric characteristics of the maceration process with mechanical compression are presented. Research was performed at hydromodules 1:6, 1:9, 1:12 and 1:15 at temperatures of $20 \pm 2^\circ\text{C}$, $40 \pm 2^\circ\text{C}$, and $60 \pm 2^\circ\text{C}$, the duration of maceration lasted 24 hours and samples were taken after 5 min, 25 min, 60 min and 24 h. Analysis of the research results showed that the highest yield of dry matter in the extract is characterized by a test sample obtained by maceration of raw materials for 25 minutes at hydromodule 1:15 and a temperature $40 \pm 2^\circ\text{C}$. The application of the subsequent short-term effect of hydrodynamic cavitation in the Venturi nozzle with internal diameters showed an increase in the dry matter content in all samples. The highest yield of dry matter is observed at a nozzle diameter of 0.006 m.

The conclusion is made based on the studies that during the extraction of *calendula officinalis* hydrodynamic cavitation increases the efficiency of mass transfer processes, improves the conditions of the process, and increases the number of water-soluble substances in the extract.

ДОСЛІДЖЕННЯ МАСООБМІННИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ЕКСТРАГУВАННІ КВІТОК КАЛЕНДУЛИ ЛІКАРСЬКОЇ

Л. Ю. Авдєєва, А. А. Макаренко, Е. К. Жукотський

Інститут технічної теплофізики НАН України

В. Ю. Павлік

НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

Стаття присвячена аналізу результатів досліджень масообмінних процесів під час водної екстракції сухих речовин з лікарської рослинної сировини, а саме — квіток нагідок лікарських, які є багатим джерелом біологічно активних речовин. Проаналізовано дані останніх досліджень щодо проблем проведення процесу екстрагування біологічно активних речовин з рослинної сировини, існуючих традиційних і більш сучасних методів. Узагальнено дані наукової літератури щодо перспективності застосування гідродинамічної кавітації для високоефективно-го екстрагування біологічно активних компонентів з рослинної сировини.

Наведено результати експериментальних досліджень кінетики масообмінних процесів при отриманні водних екстрактів з лікарської рослинної сировини календули лікарської (*Calendula officinalis*) при різних параметричних характеристиках процесу мацерації з механічним пресуванням. Дослідження проводились при гідромодулях 1:6, 1:9, 1:12 та 1:15 при температурах $20 \pm 2^\circ\text{C}$, $40 \pm 2^\circ\text{C}$ та $60 \pm 2^\circ\text{C}$, загальна тривалість мацерації тривала 24 год, зразки відбирались через 5 хв, 25 хв, 60 хв і 24 год. Аналіз результатів досліджень показав, що найбільшим виходом сухих речовин в екстракті характеризується дослідний зразок, отриманий у результаті мацерації сировини впродовж 25 хв при гідромодулі 1:15 і температурі $40 \pm 2^\circ\text{C}$. Застосування подальшого короткочасного впливу гідродинамічної кавітації в соплі Вентури з різними діаметрами горловини сопла показало збільшення вмісту сухих речовин в усіх дослідних зразках. Найбільший вихід сухих речовин спостерігається при діаметрі горловини сопла 0,006 м.

На основі проведених досліджень зроблено висновок, що при екстрагуванні календули лікарської гідродинамічна кавітація підвищує ефективність масообмінних процесів, покращує умови проведення процесу і збільшує кількість водорозчинних речовин в екстракті.

Ключові слова: рослинні екстракти, гідродинамічна кавітація, масообмінні процеси, сопло Вентури, календула лікарська.

Постановка проблеми. Рослинні екстракти характеризуються високою ефективністю дії, низькою токсичністю і відносною доступністю для споживачів. Це обумовлює значний інтерес до створення інноваційних технологій їх виробництва. Головними вимогами для впровадження інноваційних технологій виробництва такої продукції є використання сучасних методів обробки матеріалів, раціональних режимів екстракції і енергоефективного обладнання. Створення і наукове обґрунтування сучасних технологій отримання екстрактів з лікарських

рослин є актуальним і вимагає проведення комплексу аналітичних та експериментальних досліджень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Процес екстрагування лікарської рослинної сировини (ЛРС) має складний фізико-хімічний характер, пов'язаний з поверхневими явищами через взаємодію молекул екстрагенту — розчинника з молекулами клітинних структур ЛРС. Процес екстрагування ЛРС залежить від багатьох чинників, найважливішими з яких є гідродинамічні умови, площа поверхні розділення фаз, різниця концентрацій, метод екстрагування, в'язкість екстрагенту, температура і тривалість. Крім того, ефективність екстракції залежить від фізико-хімічних властивостей самої рослинної сировини (Бондаренко, Дем'яненко, Гладух & Котенко, 2011; Попова & Литвиненко, 1995).

Цінним джерелом біологічно активних речовин є календула лікарська (*Calendula officinalis*), яка широко використовується як офіційній, так і в народній медицині. Сировиною для отримання біологічно активних комплексів є вся надземна частина рослини в період цвітіння. Календула лікарська містить флавоноїди, каротиноїди, тритерпенові сапоніни, дубильні речовини, органічні смоли, гіркоти, слизи, сліди алкалоїдів, мікроелементи. На сьогодні календула входить в десятку найбільш вирощуваних лікарських рослин в різних країнах Європи і Україні (Коновалова & Рыбалко, 1990). Однак можливості й сфери застосування календули лікарської до кінця не вивчені, тому розроблення нових й удосконалення існуючих технологій її переробки для виробництва багатокомпонентних лікарських препаратів і дієтичних добавок є актуальним і перспективним.

При отриманні водних екстрактів використовують як традиційні процеси (мацерацію, перколяцію, реперколяцію тощо), так і більш сучасні (імпульсна, вакуумно-імпульсна і електроімпульсна обробка, мікрохвильова екстракція, екстрагування за допомогою використання ультразвуку або надкритичних флюїдів тощо) (Da Silva, Rocha-Santos, & Duarte, 2016; Pouliot, Conway, & Leclerc, 2014). Ефективним методом екстрагування БАР з рослинної сировини може бути гідродинамічна кавітація (NPCE — Negative Pressure Cavitation Extraction). При застосуванні методу гідродинамічної кавітації можна виділити ряд переваг, порівняно з традиційними методами екстрагування. Це екологічність, економічність, енергоефективність, масштабованість, швидка тривалість процесів і відносно м'які керовані умови експлуатації (відносно низька температура процесів) (Вітенько & Зарецька, 2012; Долінський, Авдєєва & Макаренко, 2020). Під час виникнення кавітації спостерігається порушення рівноваги газорідних систем з утворенням розривів суцільності рідини, формуванням і схлопуванням кавітаційних пухирців. Супершвидкісний кумулятивний мікрострумін, що виникає, характеризується великою потужністю впливу й можливістю руйнування міжмолекулярних і внутрішньомолекулярних зв'язків дисперсних частинок. Таким чином досягається підвищення інтенсивності впливу на складні гетерогенні системи при екстрагуванні (Dominguez & Gonzalez Munoz, 2018).

Метою статті є дослідження масообмінних процесів при екстрагуванні сухих квіток календули лікарської традиційним способом-методом мацерації з пресуванням і гідродинамічної кавітації.

Матеріали і методи. Для дослідження були використані попередньо подрібнені до 0,1—2 мм сухі квітки календули лікарської. Екстрагентом було обрано дистильовану воду при гідромодулі суха сировина:вода, як 1:6, 1:9, 1:12 та 1:15. Для проведення дослідження екстрагування методом кавітації використовувався експериментальний кавітаційний стенд, який складається з пульту управління, змінного кавітаційного реактора, об'ємного шестеренного насосу із запірною арматурою, манометрів, витратоміра, термометра з виносним датчиком, циліндричної ємності, з'єднувального трубопроводу та вивідного патрубка. Кавітаційний реактор представляє собою сопло Вентурі з геометричними розмірами: діаметр вхідного і вихідного каналу 0,042 м, кут розкриття конфузора 90°, кут розкриття дифузора 120°, довжина горловини сопла 0,020 м. Дослідження проводились при діаметрах горловини сопла кавітаційного реактора 0,006 м, 0,008 м, 0,010 м і 0,012 м. Вміст сухих речовин досліджували методом висушування в сушильній шафі за ДСТУ 8004:2015.

Викладення основних результатів дослідження. Авторами було досліджено процес водної екстракції квіток календули лікарської традиційним методом мацерації з механічним пресуванням і методом гідродинамічної кавітації. Якість екстракції оцінювали за вмістом сухих речовин.

Для визначення оптимального гідромодуля й температури процесу екстрагування було проведено відповідні дослідження. Дослідні зразки із гідромодулем 1:6, 1:9 при всіх температурах характеризувались дуже високою густиною і були достатньо непридатними для одержання водних екстрактів, тому подальші дослідження проводились на дослідних зразках з гідромодулями 1:12 та 1:15. Аналіз результатів дослідження приросту сухих речовин у процентному співвідношенні в зразках з гідромодулями 1:12 та 1:15 показав, що зразок з гідромодулем 1:15 при температурі $40 \pm 2^\circ\text{C}$ показав найбільший приріст сухих речовин (16%) після мацерації від 5 хв до 25 хв. Це можна пояснити тим, що з гідромодулем 1:15 процес екстрагування проходить від впливом найбільшої різниці концентрацій відносно зразків з іншими гідромодулями. Подальше збільшення тривалості витримки понад 25 хв призводило до незначного збільшення сухих речовин, тому є недоцільним.

Для дослідження впливу гідродинамічної кавітації використовували зразок з гідромодулем 1:15. Отриману суспензію попередньо витримували перед екстрагуванням, залишали на 25 хв для мацерації при температурі $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Графік залежності зміни вмісту сухих речовин від кількості циклів екстрагування при різних діаметрах горловини сопла трубки Вентурі представлений на рис. 1.

Отримані результати свідчать (рис. 1), що збільшення тривалості екстрагування призводить до збільшення вмісту сухих речовин в усіх зразках. Найбільший вихід сухих речовин спостерігається при діаметрі горловини сопла 6 мм вже в результаті першого циклу проходження суспензії. Після 60 циклів обробки (4 хв) приріст сухих речовин збільшився в 1,7 раза порівняно зі зразками, екстрагованими методом мацерації.

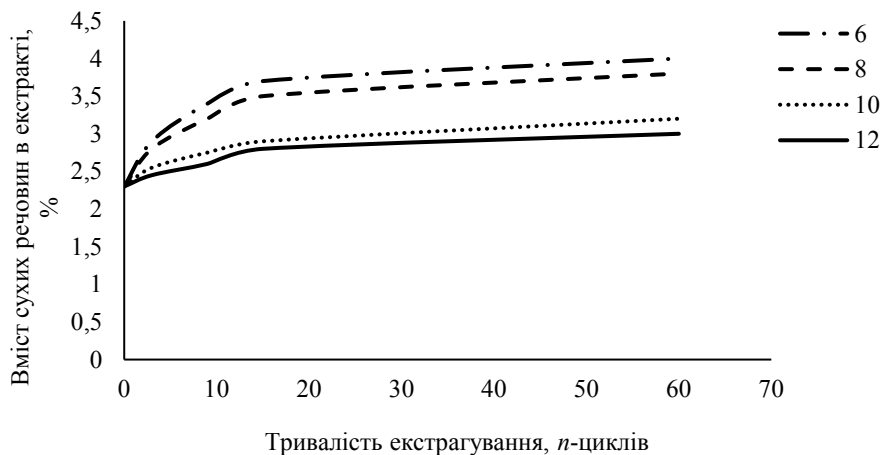


Рис. 1. Залежність зміни вмісту сухих речовин від циклу екстрагування при різних діаметрах сопла

Висновки

Наведені результати експериментальних досліджень довели, що кавітаційна обробка є ефективною при отриманні водних екстрактів. Дослідження кінетики масообмінних процесів при екстрагуванні водорозчинних речовин календули лікарської показали, що гідродинамічна кавітація підвищує ефективність масообміну, покращує умови проведення процесу і збільшує кількість водорозчинних речовин в екстракті.

Література

- Бондаренко, А. С., Дем'яненко, Д. В., Гладух, Є. В., Котенко, О. М. (2011). Дослідження технологічних параметрів лікарської рослинної сировини при створенні сиропу для лікування застудних захворювань. *Вісник фармації*, 3, 17—19.
- Попова, Т. П., Литвиненко, В. І. (1995). Деякі загальні закономірності екстрагування діючих речовин з лікарської сировини. Залежність ефективності екстракції від технологічних властивостей та параметрів шару рослинної сировини. *Фармацевтичний журнал*, 4, 75—77.
- Коновалова, О. В., Рыбалко, К. С. (1990). Биологически активные вещества *Calendula officinalis* L. *Растительные ресурсы*, 26(3), 448—463.
- Da, Silva, Rui, P. F. F., Rocha-Santos, Teresa, A. P., Duarte, Armando, C. (2016). Supercritical fluid extraction of bioactive compounds. *Trac Trends in Analytical Chemistry*, 76, 40—51.
- Pouliot, Y., Conway, V., Leclerc, P. L. (2014). Separation and concentration technologies In Food processing. *Food Processing: Principles and Applications*, Second Edition. John Wiley & Sons, Ltd.
- Hermínia Dominguez, María Jesús González Muñoz (ed.) (2018). *Water Extraction of Bioactive Compounds: From Plants to Drug Development*. Elsevier Inc.
- Вітенько, Т. М., Зарецька, Т. В. (2012). Кінетика екстрагування за умови кавітаційного гідродинамічного режиму. *Промислова гідравліка і пневматика*, 2(36), 50—54.
- Долінський, А. А., Авдєєва, Л. Ю., Макаренко, А. А. (2020). *Кавітаційні технології для виробництва нанопрепаратів*. Київ: Наукова думка.

BIOELECTRONICS AND REGULARITIES OF ACQUISITION OF HEALTH PROPERTIES WITH DRINKING WATER ENRICHED WITH HYDROGEN MOLECULES

Y. Bolshak, A. Marynin, R. Svyatnenko, V. Shpak

National University of Food Technologies

Key words:

Bioelectronics
Hydrogen
Electrons
Protons
Reactive oxygen species
Oxidation
Hydrogen water

Article history:

Received 24.09.2021
Received in revised form
05.09.2021
Accepted 19.10.2021

Corresponding author:

A. Marynin
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

For a long time, in the heyday of the achievements of electronics, people had no idea that their vital activity is essentially provided by the separation of charges (electrons, protons and ions). But unlike electronic devices, these processes occur directly in the cells, tissues and organs of living beings.

For a long time, the hydrogen molecule was perceived as chemically and biologically inert due to the strength of covalent bonds between H atoms. The simplest path of hydrogen to the body is recognized with drinking water enriched with H₂ molecules. The anti-inflammatory properties of hydrogen water and its unique selective antioxidant properties were also revealed: the ability to effectively neutralize the most active radicals — hydroxyl (H) and peroxynitrite (ONOO⁻). It is these radical active oxygen species (AOS) that are responsible for most diseases and pathological conditions of various organs and systems of the body. However, the vast majority of studies do not explain how chemically inert hydrogen molecules can participate in redox reactions, ensuring that the water acquires a reducing electron-donor state with a redox potential value of -200...-300 mV.

The scientific idea that the chemical and biological activity of hydrogen molecules in water can be achieved by their activation was confirmed. It has been suggested that the decay of hydrogen atoms directly in mitochondria creates the probability of the participation of their electrons and protons in bioenergetic processes in cells, positively affecting their physiological state.

A physicochemical bioelectronic model of the process of obtaining a reductive electron-donor state by water enriched with hydrogen molecules was formulated. A new method of obtaining hydrogen water by biochemical method has been developed by enriching the aquatic bioenvironment with hydrogen of metabolic origin from natural microbial cultures on substrates of plant origin.

БІОЕЛЕКТРОНІКА І ЗАКОНОМІРНОСТІ НАБУТТЯ ОЗДОРОВЧИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПИТНОЮ ВОДОЮ, ЗБАГАЧЕНОЮ МОЛЕКУЛАМИ ВОДНЮ

Ю. В. Большак, А. І. Маринін, Р. С. Святненко, В. В. Шпак

Національний університет харчових технологій

Незважаючи на розквіт досягнень електроніки, люди й гадки не мали, що їхня життєдіяльність, по суті, забезпечується розділенням зарядів (електронів, протонів та йонів). Але, на відміну від електронних пристроїв, ці процеси відбуваються безпосередньо в клітинах, тканинах та органах живих істот.

Тривалий час молекула водню через міцність ковалентних зв'язків між атомами Н сприймалася як хімічно та біологічно інертна. Найпростіший шлях водню до організму визнано з питною водою, збагаченою молекулами H_2 . Було виявлено також протизапальні властивості водневої води та унікальні її селективні антиоксидантні властивості: здатність до ефективної нейтралізації найбільш активних радикалів — гідроксилу (H) та пероксинітриду (ONOO⁻). Саме ці радикальні активні форми кисню (АФК) відповідальні за більшість хвороб і патологічних станів різних органів та систем організму. В переважній більшості досліджень проте не пояснюється, як хімічно інертні молекули водню можуть брати участь в окисно-відновних реакціях, забезпечуючи набуття водою відновного електронодонорного стану з величиною ОВП –200...–300 мВ.

У статті підтверджено наукову ідею про те, що хімічна та біологічна активність молекул водню у воді може досягатися шляхом їх активації. Припущено, що розпад атомів водню безпосередньо у мітохондріях створює ймовірність участі їх електронів і протонів у біоенергетичних процесах у клітинах, позитивно впливаючи на їхній фізіологічний стан.

Сформульовано фізико-хімічну біоелектронну модель процесу набуття водою, збагаченою молекулами водню, відновного електронодонорного стану. Розроблено новий метод отримання водневої води біохімічним методом, шляхом збагачення водного біосередовища воднем метаболічного походження від природних мікробних культур на субстратах рослинного походження.

Ключові слова: біоелектроніка, водень, електрони, протони, активні форми кисню, окислення, воднева вода.

Постановка проблеми. В епоху електроніки на кожному кроці ми маємо справу з всеохоплюючим використанням електричної енергії, без якої важко уявити комфортне існування сучасної людини. Тривалий час, незважаючи на досягнення електроніки, люди й гадки не мали, що їхня життєдіяльність забезпечується тими ж розділенням і перенесенням зарядів, але не в дротах і електричних пристроях, а в клітинах, тканинах та органах живих істот. З'явилися такі самостійні галузі біофізики, як біоенергетика та біоелектроніка. Видатний фундатор цих наук, лауреат Нобелівської премії Альберт Сент-Дьєрдьї писав: «Цілком імовірно, що живий організм просякнутий «невидимим потоком», частинки якого — електрони — більш рухомі, ніж молекули, несуть у собі енергію, заряд та інформацію і є паливом для всіх життєвих процесів. Можливо також, що саме за

допомогою цих електронів молекули об'єднуються в організовані структури і від них же (електронів) залежить дивовижна досконалість біологічних реакцій» (Сент-Дьєрдьї, 1971). А. Сент-Дьєрдьї та П. Мітчел розробили модель джерела всієї енергії в клітинах і, відповідно, джерела енергії в усьому тілі. Відповідно до цієї моделі, водень відіграє головну роль у виробництві АТФ, а необхідна енергія генерується поляризацією та синтезом атомів і молекул водню внаслідок фотонної йонізації. Біоенергетика на планеті починається з фотосинтезу і це явище є важливим наочним свідченням нерозривної єдності біоенергетики та біоелектроніки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Біоелектроніка та біоенергетика в процесах життєдіяльності на землі починаються з явищ фотосинтезу. Збагачені енергією фотонів електрони заряджають поверхню мембрани тілакоїдів мінусовим зарядом, а протони накопичуються всередині тіла колоїдів, заряджаючи внутрішню поверхню мембрани позитивно. При досягненні критичної різниці потенціалів протони H^+ починають протискатися крізь канали АТФ-синтази, при цьому вивільнюється енергія для синтезу АТФ. Саме тут маємо перетворення енергії сонячного світла в процесі фотолізу.

Під час фотосинтезу молекула хлорофілу поглинає квант світла і переходить у збуджений стан. При цьому електрон вибивається з молекули хлорофілу (Сент-Дьєрдьї, 1960). Збагачені енергією електрони надходять до особливого ланцюга переносників і передаються на зовнішню поверхню мембрани тіла колоїдів, де вони накопичуються і мембрана заряджається негативно (Сидоров, 2020). Молекула хлорофілу відновлює свій електрон за рахунок фотолізу (дисоціації) молекули води під дією кванта світла на H^+ та OH^- (Ohsawa та ін., 2007). Протони накопичуються всередині тіла колоїду, створюючи H^+ -резервуар, водночас внутрішня поверхня мембрани заряджається позитивно. При досягненні критичної різниці потенціалів з обох боків мембрани протони H^+ набувають здатності протискатися крізь канали АТФ-синтази. При цьому вивільнюється енергія для синтезу АТФ.

Протони H^+ на зовнішньому боці мембрани приєднують електрони молекули хлорофілу, відновлюючи атом Н, який за допомогою носія НАДФ (нікотинамідаденіндинуклеотидфосфат) надходить до строми хлоропласту для синтезу глюкози:



Таким чином енергія сонячного світла породжує чотири фундаментальні процеси: збудження молекул хлорофілу, утворення кисню внаслідок фотолізу води, синтез АТФ, утворення атомів водню формі НАДФ \cdot H $_2$.

Темнова фаза відбувається в стромі хлоропласту як на світлі, так і в темряві і являє собою ряд послідовних перетворень CO_2 . Ферменти зв'язують п'ятиуглецевий цукор з вуглекислим газом повітря. При цьому послідовно відновлюються до молекули глюкози.

У світловій фазі фотосинтезу енергія сонячного світла йде на збудження хлорофілу та утворення збуджених електронів, енергія світла — на фотоліз води, утворення кисню та протонів, енергія збуджених електронів перетворюється в енергію АТФ та НАДФ \cdot H $_2$, окисне фосфорилування.

У мітохондріях клітин енергія, необхідна для синтезу АТФ, одержується в процесі окисного фосфорилування, вивільняючись при русі електронів по електронно-транспортному ланцюгу. Ця енергія використовується для перекачування протонів з мітохондріального матриксу крізь внутрішню мембрану до міжмембранного простору. Водночас по обидва боки внутрішньої мембрани збільшується електрохімічний градієнт і різниця електричних потенціалів. Тобто накопичується енергія, яка вивільнюється при поверненні протонів до матриксу. Повернення протонів до матриксу проходить крізь особливий білковий комплекс — АТФ-синтазу, а сам процес повернення H^+ до матриксу називається хеміосмосом. АТФ-синтаза використовує виділену при хеміосмосі енергію для синтезу АТФ з АДФ у реакції окисного фосфорилування. Ця реакція запускається при обертанні частинок АТФ-синтази і підтримується потоком протонів.

Усі хімічні реакції в клітинах організму відбуваються у водних розчинах або при розкладі молекул води. Молекули води потрапляють до організму ззовні, або, як доводиться у (Liu, Sun & Tao, 2012), також синтезуються у внутрішньоклітинному середовищі. Якщо припустити, що весь кисень, який надходить до організму, йде на синтез молекул води для поповнення водного розчину крові, то молекулярний баланс синтезу води для відновлення водного розчину крові матиме такий вигляд (Сидоров, 2020):



Кисень людина отримує з легень завдяки диханню, а от водень у кількості $2,7 \times 10^{24}$ молекул необхідно виробляти в процесі обміну речовин при іонізації молекул води. За таким механізмом кисень перебуває разом з молекулами води в еритроциті і, проникаючи крізь мембрани клітин, присутній і зовні клітин. Для створення цього спільного руху в системі обміну речовин місці необхідне наведення зовнішніх та внутрішніх енергетичних потенціалів магнітно-електричних полів. Процесу гідратації підлягають як молекули кисню, так і окремі йони розчиненої у воді будь-якої речовини. Гідратація обумовлює хімічну стійкість йонів у валентному зв'язку з молекулами води в розчині крові, що не перешкоджає об'єднанню йонів у більш складні хімічні сполуки в процесі енергетичних взаємодій розчинених елементів у водних потоках крові. Гідратація молекул кисню сприяє збереженню кисню при його транспорті в потоках крові до споживачів кисню.

Молекула H_2 може існувати лише при паралельній орієнтації спінів її електронів (Сидоров, 2020, Українець, Большак, Святненко & Прохоренко, 2018). Тому лише 25% атомів водню (в стані параводню) можуть синтезуватися у молекули H_2 для подальшого синтезу інших сполук. Інші атоми руйнуються на йони H^+ та H^- з часом перескоку 10^{-12} с. Шляхом залучення протоном на вільну орбіталь електрона синтезується новий (відновлений) атом водню. Тож можна вважати, що молекули водню є донорами йон-молекулярних комплексів (йонів гідроксонію), які беруть участь у генерації електростатичного поля — джерела сил Лоренця. Цим твердженням ми визначаємо ще одну важливу фізичну роль водню в механізмі забезпечення життєдіяльності організму людини. Одночасно розкривається механізм народження атомів і молекул водню шляхом рекуперації вільних протонів, які виділяються з атомів інших елементів (при їх синтезі) та електронів, яких надзвичайно багато в зоні іонізації, та утворення заряджених частинок.

Альберт Сент-Дьєрдьї писав про водень як єдиний енергоносіє життєдіяльності: «...тіло людини знає лише один енергоносіє — водень. Продукти харчування, які містять у собі вуглеводні, є постачальниками водню і головний у часі процес згорання вуглеводів — це відщеплення водню від вуглеводнів поживного субстрату. Його згорання (руйнація та синтез) є енергопостачальною реакцією» (Сидоров, 2020). 98% усього організму складається з атомів С, О, Н, N. В організмі визначено $4,22 \times 10^{27}$ атомів водню, $1,61 \times 10^{27}$ — кисню; $8,03 \times 10^{26}$ — вуглецю; $3,9 \times 10^{25}$ — азоту. Тобто переважають водень і кисень (Сидоров, 2020). Щодо ролі електронів у процесі життєдіяльності, то А. Сент-Дьєрдьї писав: «Атом — це система електронів, стабілізована ядром, а молекули — це ніщо інше, як атоми, які утримуються разом поділеними між ними електронами. Те, що ми називаємо хімічною енергією, яка управляє життєвими процесами, — це енергія електронів» (Сент-Дьєрдьї, 1971).

Воднева вода є водою, збагаченою молекулярним воднем, який є гідрофобним газом, слабкорозчинним у воді (насичення при вмісті 1,8 мг/л) і до того ж хімічно і, відповідно, біологічно інертним. Через це тривалий час не було мотивацій для дослідження впливу водню на показники здоров'я організму людини. Лише у 2007 р. інноваційні дослідження японських вчених несподівано підтвердили, що H_2 вибірково реагує з високореактивними цитотоксичними оксид аніонами, такими як гідроксильний радикал (OH^*) та пероксинітрит ($ONOO^-$) безпосередньо у внутрішньоклітинному середовищі (Ohsawa та ін., 2007; Liu, Sun & Tao, 2012). Саме ці радикальні активні форми кисню (АФК) відповідальні за більшість хвороб і патологічних станів різних органів та систем організму. При цьому той же водень жодним чином не впливає на менш активні сигнальні молекули АФК, які виконують в організмі фізіологічно корисні функції і наявність яких у клітинах є необхідною для їх нормального клітинного метаболізму. З моменту відкриття позитивний вплив H_2 на здоров'я людини підтверджено численними дослідженнями в багатьох країнах світу. А в Японії, Південній Кореї та Китаї гідрогенотерапія набула повсюдного впровадження в лікувальних і профілактичних медичних установах. На ринках широко представлена як сама воднева вода, так і численні моделі генераторів водневої води. Суть парадоксу водневої води полягає в тому, що при очевидній терапевтичній ефективності вживання водневої води фізико-хімічні та фізіологічні ефекти її оздоровчої (антиоксидантної, протизапальної, антиалергічної та антиапоптичної) дії на клітинному рівні сучасною наукою розкрито далеко не повно та переконливо. Це виглядає цілком логічно та узгоджується з хімічною та біологічною інертністю молекулярного водню. Проте відсутність чіткого фізико-хімічного тлумачення процесу набуття водневою водою унікальних властивостей об'єктивно стримує прогрес у такій перспективній новій галузі біології та медицини.

Перспективним напрямом у вирішенні вказаного парадоксу є наукова ідея про існування явища активації (дисоціації, йонізації) молекул та атомів водню безпосередньо у внутрішньоклітинному середовищі (Большак, Українець, Маринін & Святненко, 2019; Лихачев & Мысливец, 2007). У цьому дослідженні показано, що набуття відновного електронно-донорного стану католіту (продукту електрохімічної активації води) з величиною ОВП $-200 \dots -300$ мВ може бути результатом дисоціації (активації) молекул водню, якими електрохімічно збагачений католіт. Утворені при цьому два атоми водню є достатньо реакційно здатними,

щоб брати участь у подальших окисно-відновних реакціях. Атом водню легко віддає воді електрон, з утворенням хімічно активного гідратованого електрона — визнаного активним відновником, протон легко приєднується до однієї з найближчих молекул води з утворенням стійкого хімічно йону гідроксонію (H_3O^+) — міцного аквакомплексу. Вода, збагачена молекулами H_2 , активованими завдяки їх дисоціації. Логічно припустити, що розпад атомів водню безпосередньо в мітохондріях забезпечує ймовірність участі їх електронів і протонів у біоенергетичних процесах у клітинах, позитивно впливаючи на їхній фізіологічний стан.

У праці (Лихачев & Мысливец, 2007) показано також, що хімічна активність молекулярного водню у водному розчині проявляється не одразу після введення водню у воду (що підтверджується нашими власними дослідженнями), а через певний час (від 9 до 24 год), що якісно пояснюється авторами взаємодією молекул водню у воді з квантами високореакційноздатних частинок космічного випромінення та радіаційного фону Землі (Старков, 2009). Відомо, що хімічній інертності молекула водню зобов'язана міцності молекули H_2 , що обумовлена ковалентним хімічним зв'язком, який міцно пов'язує два атоми водню. Хімічний зв'язок атомів водню в молекулі ковалентний, не полярний, оскільки молекула утворена атомами з однаковою електронегативністю (атоми одного виду). Через ущільнення електронів атомів молекула водню стійкіша, ніж атоми водню окремо. Енергія дисоціації H_2 досить велика — 436 кДж/моль. Хімічну активність H_2 слід очікувати при його активації (дисоціації). У внутрішньоклітинному середовищі теоретично в тепловому русі молекул при зіткненні фотохімічно збуджених (квантами високоенергетичних фотонів) молекул з молекулами іншого виду (наприклад H_2) іноді спостерігається дисоціація останніх. Якщо передана при зіткненні енергія збудження виявиться більшою, ніж енергія дисоціації, такі молекули розпадаються на атоми (удар другого роду, а дисоціація внаслідок такого удару називається сенсibilізованою дисоціацією). В принципі, дисоційовані атоми з певною ймовірністю можуть негайно асоціюватися в молекулу, але певна частина атомів водню — продуктів дисоціації H_2 — залишаються вільними. Нам цікавий такий механізм дисоціації молекул водню тому, що спорідненість до електрона атома водню складає лише 67 кДж/моль при енергії дисоціації молекули водню 436 кДж/моль. Тобто дисоціація H_2 створює два атоми водню, а не висока енергія йонізації останніх робить високоймовірним перехід у воду внаслідок йонізації атома водню електрона та протона. Яким би не був шлях водню до атомарного стану у воді, але подальше формування відновного редокс-стану води внаслідок присутності в ній саме атома водню відбувається внаслідок йонізації H з подальшою гідратацією електрона та протона. Причому вирішальним для формування відновного редокс-стану води є те, що при гідратації протона утворюється міцний аквакомплекс — йон гідроксонію H_3O^+ . На відміну від утвореного гідратованого електрона, йон гідроксонію практично не здатний до участі у подальших окисно-відновних реакціях у воді. А вже за самим означенням гідратовані електронами є енергетично активними в умовах водного середовища. Гідратовані електрони відрізняються від вільних електронів меншою рухливістю, але більшою термодинамічною стійкістю і нагадують сольватовані аніони. Вони мають короткий час життя.

Загалом, гідратований електрон значно більш потужний відновлювач, ніж більшість відомих хімічних. При взаємодії з органічними речовинами він є найбільш сильним нуклеофільним реагентом, причому місцем його взаємодії, як правило, є електрично плюсовий центр молекули. Тож іонізація атома водню створює односпрямований наслідок — крок у напрямку підвищення електронної активності водного розчину.

Логічно припустити, що розпад атомів водню безпосередньо в мітохондріях клітин забезпечує ймовірність участі електронів і протонів — продуктів іонізації Н — у розглянутих вище електрохімічних процесах окисного фосфорилування і синтезу АТФ, що мусить підвищувати ефективність біоенергетичних процесів і, відповідно, фізіологічний стан клітин, тканин і органів та організму в цілому. Це може бути суттєвим доповненням до терапевтичного ефекту від набуття водневою водою відновного електронодонорного стану, з яким достеменно пов'язують антиоксидантні, протизапальні, антиалергічні, антиапоптозні властивості водневої води (Ohsawa, 2007).

Серед методів одержання водневої води домінує електроліз води в присутності каталізаторів. Виробники генераторів водню не розкривають тонкощів технології їх виробництва з комерційних міркувань. Тому розробка нового ефективного методу збагачення води воднем з прийнятною для масового споживання водневої води рентабельністю залишається важливим та актуальним завданням.

Мета статті: з позицій сучасної біоелектроніки дослідити фізико-хімічний механізм набуття водою, збагаченої молекулами водню, відновного електронодонорного стану, враховуючи хімічну та біологічну інертність молекул водню при сенсаційних терапевтичних ефектах вживання водневої води.

Матеріали і методи. Об'єкт дослідження — дистильована вода як біосередовище для природних мікробних культур (диких дріжджів) на рослинних субстратах і дистильована вода та водні розчини біогенних органічних кислот як хімічний реагент у процесі гідролізу магнію.

Для вибору напряму пошуку нового методу продукування водню була взята до уваги інформація про участь водню в метаболічних процесах організму людини. Відомо, що водень і метан утворюються в кишківнику винятково внаслідок бактеріальних метаболічних процесів (Козлов, 2011). Отже, наш організм від народження вже знайомий з дією на нього молекулярного водню. Природно, що з'явилася ідея мікробіологічного одержання водню для продукування водневої води. Про особливості одержання водню на рослинних субстратах йдеться в (Марков, 2007). Відомо також, що напої, одержані за технологією бродіння (квас, червоне вино, пиво і навіть горілка), а також деякі кисломолочні продукти характеризуються певною антиоксидантною активністю (АОА). Величина ОВП таких напоїв складає $-70 \dots -200$ мВ залежно від типу напою та його бренду. Автор винаходу (Марков, 2007) пропонує посилювати АОА квасу шляхом додаткового насичення воднем під тиском (Марков, 2007). Отже, логічно видається спроба використати процес бродіння для одержання води з відновними електронодонорними властивостями (з ОВП із знаком мінус) завдяки водню метаболічного походження. Також досліджена поведінка в часі водного біосередовища на основі субстрату — зерна ряду цінних зернових культур, чаїв і фіточаїв. У всіх випадках з часом більше 10 год спостерігалось набуття водою відновного елек-

тронодонорного редокс-стану з величиною ОВП –400...–500 мВ. Процес бродіння відбувався завдяки природним дріжджовим культурам (дикі дріжджі), які присутні у зернових та інших рослинних субстратах природним шляхом.

Викладення основних результатів дослідження. На рис. 1 наведено результати дослідження кінетики (години) процесу набуття водним біосередовищем (напівфабрикат вівсяного зерна плюс дистильована вода) шляхом контролю таких показників води: рН; ОВП, мВ; загальний солевміст, мг/л; вміст у воді молекулярного водню, мг/л. Пряме визначення молекулярного водню проводилось за допомогою тестера водню у воді «H₂ Blue, США». Вміст водню визначається візуально за кількістю введених до досліджуваної води крапель тестової рідини за ефектом знебарвлення тестової води в мірній мензурці при перемішуванні проби води. Знебарвлення розчину, забарвленого однією краплею тестової речовини, відповідає вмісту у воді 0,1 мг/л водню, забарвленої двома краплями — 0,2 мг/л H₂ тощо.

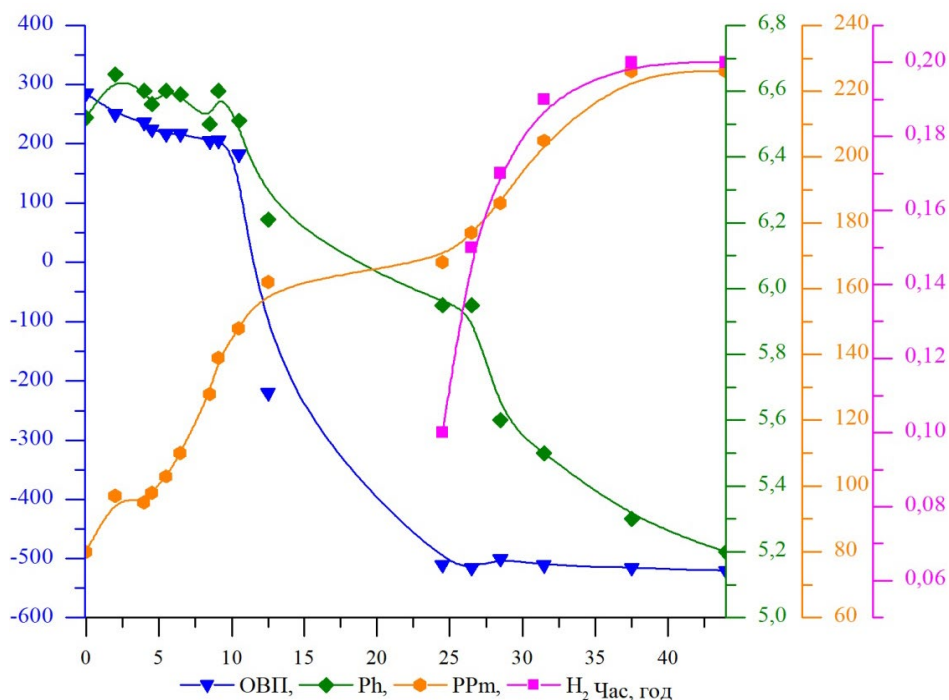


Рис. 1. Кінетика процесу збагачення водного біосередовища молекулярним воднем метаболічного походження від природних мікробних культур на рослинному субстраті

Як відомо, насичення води воднем відбувається при його концентрації 1,8мг/л. Як видно з рис. 1, величини ОВП та рН водного біорозчину практично не змінюються протягом 10,5 год з початку процесу (введення субстрату у воду), що, ймовірно, пов'язано з адапційним періодом переходу мікробних культур від повітряного до водного довкілля з набуханням субстрату й екстракцією з нього у воді поживних для мікробів речовин. Такий тривалий адапційний період спо-

стерігається для більшості використаних рослинних субстратів і майже не залежить від хімічного складу води. У всіх випадках використовувалась дистильована вода і вода питної якості. В інтервалі часу від 10,5 до 12,5 год від початку процесу спостерігається швидка зміна величини ОВП біорозчину в бік відновних значень ОВП від +204 мВ до -220 мВ. Тобто спостерігаємо зміну величини ОВП на 424 мВ. Якби ми змінювали редокс-стан води електрохімічним методом, то, відповідно, до коваріантності (взаємопов'язаності) цих параметрів в електрохімічних окисно-відновних процесах закономірно спостерігали зміну рН на 6 одиниць у лужному напрямку (при зміні величини ОВП на 60 мВ величина рН повинна змінюватись за принципом коваріантності на одиницю і навпаки). У нашому випадку при значній зміні величини ОВП величина рН практично не змінюється, що притаманно біоелектронному механізму формування відновного стану води, збагаченої молекулами водню, в чому ми впевнимосся далі. За цим механізмом молекули водню (незалежно від їх походження) дисоціюють на атом водню, які, у свою чергу, віддають воді свої складові: електрони та протони. Відсутність у воді водню до досягнення водою величини ОВП — 220 мВ, вказує на те, що, ймовірно, весь виділений мікробами водень йде на формування відновного редокс-стану водного біосередовища. Така тенденція пояснюється тим, що протони, утворюючи з молекулами води аквакомплекси йону гідроксонію, втрачають хімічну активність, залишаючи гідратованим електронам визначати остаточний редокс-стан води.

Аналіз результатів (рис. 1) показує, що через добу з початку процесу і майже до двох діб досягнута і далі не змінюється максимальна відновна величина ОВП — -500мВ, при незначній тенденції до зниження величини рН.

Наше бачення механізму цього явища полягає в тому, що це може бути наслідком уповільнення процесу протонування води (нібито насиченням води протонами), яка збагачена як протонами, так і електронами й гідроксид йонами. На користь такого припущення вказують факти, наведені в (218.016.483В, «Квас с высокой антиоксидантной активностью»). Варто зазначити, що у водному розчині майже всі катіони гідратовані. Водночас при гідратації протона утворюється міцний аквакомплекс — йон гідроксонію H_3O^+ . До нього можуть приєднуватися ще три молекули води, утворюючи аквакомплекс з чотирма молекулами води (218.016.483В, «Квас с высокой антиоксидантной активностью»). Формування численних аквакомплексів гідроксонію може змінити локальні умови для гідратації протонів і гальмувати утворення нових аквакомплексів йонів гідроксонію. Припускаємо, що тривалість життя протона до моменту його взаємодії з молекулою води й утворення йону гідроксонію може подовжитись настільки, що стане можливою асоціація протона з електроном з утворенням (відновленням) атома водню. На ймовірність такого розвитку подій вказує поява у воді молекул водню при досягненні максимальної відновної величини ОВП розчину. Визначено 0,15 мг/л водню в розчині при величині ОВП -515 мВ. Як бачимо з рис. 1, концентрація водню після його появи надалі зростає і стає вдвічі більшою наприкінці процесу. Незначне зменшення величини рН в кінці процесу може бути пов'язане зі збільшенням кількості реакційно здатних протонів у розчині при усталеній максимальній величині ОВП, які не увійшли з певних причин до складу новоутворених йонів гідроксонію.

Про особливий характер гідратації аніонів і катіонів у воді свідчить нова теорія, створена у Нью-Йоркському університеті. Згідно з теорією, взаємодія протонів і гідроксид аніонів, утворених внаслідок дисоціації молекул води, з оточуючими їх молекулами води, зовсім різна. Протони та гідроксил аніони рухаються у воді по-різному, що відповідає теоретичній моделі розкладу у воді атома водню з надходженням у воду протона та електрона з подальшою їх специфікою взаємодії з водою. І ця специфіка є критичним фактором, що визначає формування у воді її відновного електронодонорного стану, відповідального за антиоксидантні, протизапальні, антиалергійні, протиапоптичні властивості водневої води.

Висновки

Отже, шляхом прискіпливого аналізу й узагальнення високофахових літературних джерел та результатів власних досліджень сформовано фізико-хімічну біоелектронну модель процесу набуття водою, збагаченої молекулярним воднем, відновного електронодонорного стану.

Розроблено новий перспективний метод одержання водневої води біохімічним методом шляхом збагачення водного біосередовища молекулярним воднем метаболічного походження від природних мікробних культур на субстратах рослинного походження, який характеризується винятковою маловитратністю та доступністю.

Література

Большак, Ю. В., Українець, А. І., Маринін, А. І., & Святненко, Р. С. (2019). Вивчення впливу КВЧ-опромінення води на її структурно-енергетичний стан та можливі біологічні наслідки процесу. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*, 25(5), 217—225.

Козлов, В. А. (2011). Метаболізм кишечних газів и его роль в возникновении гастроинтестинальных симптомов. *Український медичний часопис*, 2, 116—118.

Лихачев, П. П., & Мысливец, Т. С. (2007). Окислительно-восстановительный потенциал воды, насыщенной водородом. *Электронный научный журнал «ИССЛЕДОВАНО В РОССИИ»*, 230—239.

Марков, С. А. (2007). Биоводород: Возможное использование водорослей и бактерий для получения молекулярного водорода. *Альтернативная энергетика и экология*, 1(45), 30—35.

Сент Дьердьи, А. (1971). *Биоэлектроника*. Москва: Издательство «Мир».

Сент Дьердьи, А. (1960). *Биоэнергетика*. Москва: Государственное издательство физико-математической литературы.

Сидоров, Е. П. (2020). Физическая роль рекуперации водорода в жизнедеятельности человеческого организма. *Universum: химия и биология*, 12(78).

Старков, В. Н. (2009). *Экология ближнего космоса (терминология)*. Справочное пособие. СПб: СОЛО.

Українець, А. І., Большак, Ю. В., Святненко, Р. С., & Прохоренко, Ж. І. (2018). Застосування фізично зміненої (активованої) води для підвищення ефективності технологій харчового виробництва та поліпшення якості продукції. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*, 24, (5), 218—224.

Liu, S., Sun, X., & Tao, H. (2012). Hydrogen: From a biologically inert gas to a unique antioxidant. *Oxidative stress-molecular mechanisms and biological effects*, 135—144.

Ohsawa, I., Ishikawa, M., Takahashi, K., Watanabe, M., Nishimaki, K., Yamagata, K., ... & Ohta, S. (2007). Hydrogen acts as a therapeutic antioxidant by selectively reducing cytotoxic oxygen radicals. *Nature medicine*, 13(6), 688—694.

Ohsawa, I. (2007). Hydrogen acts as a therapeutic antioxidant by selectively reducing cytotoxic oxygen radicals. *Nature Medicine*, 13, 688—694.

INTENSIFICATION OF HEAT EXCHANGE PROCESSES DURING THERMAL CONTACT HEATING AND MELTING OF FATS AND OILS

A. Nedbailo

National University of Food Technologies

O. Stepanova, N. Silnyagina

Institute of Engineering Thermophysics of National Academy of Sciences of Ukraine

Key words:

Hydrocarbon mixtures

Heating

Melting

Intensification

Heat exchange

Thermal contact method

Phase transition

Article history:

Received 22.09.2021

Received in revised form

06.10.2021

Accepted 18.10.2021

Corresponding author:

O. Stepanova

E-mail:

super-olesya2807@

ukr.net

ABSTRACT

Theoretical and experimental studies of the processes of heating and melting of hydrocarbon mixtures, such as solid fats, oils, vaseline, lanolin, etc. were conducted using the local thermal contact method. The traditional and widely used method of melting hydrocarbon mixtures is their heating through the heat transfer surface. The influence of regime parameters (heater temperature, pressure on the surface of the substance, initial temperature of the hydrocarbon mixture) on the speed of the heating and melting processes to determine the optimal parameters was investigated. This method means supplying heat directly to the front of the phase transformation by means of a disk heater. An experimental stand was created and a research method was developed, which allowed to obtain kinetic regularities of the heating and melting processes. The developed simulation of the melt flow in the annular gap, describing the laminar flow under the action of the pressure drop and the velocity of the tank wall relative to the heater made it possible to calculate the average melt velocity through the gap. As a result of simulating the flow of melt under the heater, which is directly related to modeling the flow of melt through the annular gap, because the melt passes from the disk to the annular gap as a single continuous flow, the pressure at the entrance to the annular gap between wall and heater.

Based on the obtained data, an innovative energy-efficient installation for heating and melting of hydrocarbon mixtures was created. The plant combines several technological operations, which allows to intensify the melting process and reduce energy consumption. As a result of the conducted researches it was established that the use of the proposed method and installation allows to reduce energy consumption by 1.2...1.7 times in comparison with other methods.

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ТЕПЛООБМІННИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ТЕРМОКОНТАКТНОМУ НАГРІВАННІ ТА ПЛАВЛЕННІ ЖИРІВ І ОЛІЙ

О. М. Недбайло

Національний університет харчових технологій

О. Є. Степанова, Н. Б. Сильнягіна

Інститут технічної теплофізики НАН України

У статті проведено теоретичні й експериментальні дослідження процесів нагрівання та плавлення вуглеводневих сумішей, таких як тверді жири, олії, вазеліни, ланоліни тощо при застосуванні локального термоконтантного методу. Традиційним і широко застосовуваним способом плавлення вуглеводневих сумішей є їх нагрівання через поверхню теплообміну. Досліджено вплив режимних параметрів (температура нагрівача, тиск на поверхню речовини, початкова температура вуглеводневої суміші) на швидкість перебігу процесів нагрівання і плавлення для визначення оптимальних параметрів.

Спосіб полягає у підведенні теплоти безпосередньо до фронту фазового перетворення за допомогою дискового нагрівача. Створено експериментальний стенд і розроблено методіку проведення досліджень, що дало змогу отримати кінетичні закономірності перебігу процесів нагрівання та плавлення. Розроблене моделювання течії розплаву в кільцевому зазорі, що описує ламінарну течію під дією перепаду тиску і швидкістю руху стінки ємності відносно нагрівача дало змогу розрахувати середню швидкість розплаву через зазор. У результаті моделювання течії розплаву під нагрівачем, що безпосередньо пов'язане з моделюванням течії розплаву через кільцевий зазор, бо розплав переходить із дискового в кільцевий зазор як одна нерозривна течія, було визначено тиск на вході в кільцевий зазор між стінкою і нагрівачем.

На підставі отриманих даних створено інноваційну енергоефективну установку для нагрівання та плавлення вуглеводневих сумішей. В установці об'єднано декілька технологічних операцій, що дає змогу інтенсифікувати процес плавлення та зменшити витрати енергії. В результаті проведених досліджень встановлено, що використання запропонованого способу та установки дає змогу в 1,2...1,7 рази скоротити витрати енергії порівняно з іншими методами.

Ключові слова: вуглеводневі суміші, нагрівання, плавлення, інтенсифікація, теплообмін, термоконтантний спосіб, фазовий перехід.

Постановка проблеми. Теплообмінні процеси мають велике значення для здійснення технологічних операцій у багатьох галузях, зокрема у фармацевтичній, харчовій і нафтопереробній промисловостях (рис. 1). Особливо велике значення проблема інтенсифікації переносу тепла має для створення високоенерго-ефективного обладнання.

Процеси нагрівання та плавлення є трудомісткими й енергозатратними, тому що необхідно перевести речовини або суміші з твердого стану до достатньо

плинного, щоб забезпечити їх подальше транспортування до наступних стадій виробництва.

Традиційно на підприємствах для нагрівання та плавлення вуглеводневих сумішей використовують реактори з різними конструкціями мішалок, ванни із зміювиками, електротканні нагрівачі, нагрівальні камери тощо.

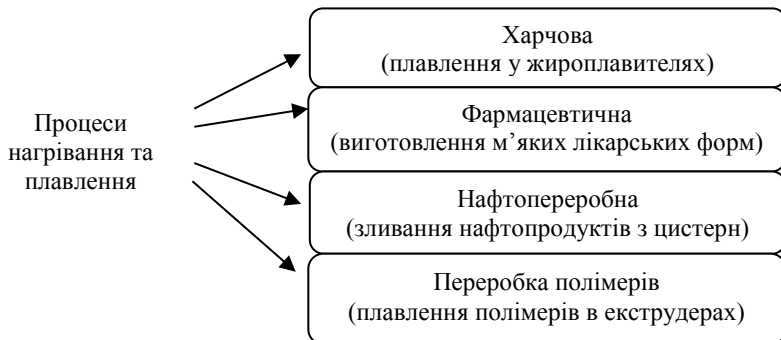


Рис. 1. Галузі застосування процесів нагрівання і плавлення

Такі методи є тривалими й енергоємними, спостерігаються великі градієнти температур, що найчастіше призводить до перегріву однієї частини речовини та недогріву іншої. Крім того, проблематичним і контамінаційно небезпечним є процес завантаження сумішей у котли та подальше їх вивантаження. Переважно таке обладнання закуповується за кордоном, на придбання якого витрачаються великі кошти. Враховуючи все це, розробка і впровадження вітчизняних інноваційних технологій та обладнання для здійснення процесів нагрівання та плавлення вуглеводневих сумішей є актуальним завданням.

Метою статті є встановлення теплофізичного обґрунтування кінетичних закономірностей перебігу процесів термоконтактного нагрівання та плавлення вуглеводневих сумішей, інтенсифікація теплообміну і розробка енергозберігаючої технології та обладнання.

Матеріали і методи. Одним з найпоширеніших процесів у харчовій, фармацевтичній, переробній, хімічній та інших галузях промисловості є процес нагріву і плавлення високов'язких речовин з низьким коефіцієнтом теплопровідності, таких як жири і олії тощо. Більшість олій і жирів є термолабільними речовинами. Вони не витримують високих температур і тривалого нагрівання. Кінетика процесу нагрівання та плавлення залежить не тільки від властивостей речовини, а й від застосовуваного методу плавлення. Структурні і морфологічні зміни речовин, які відбуваються при цих процесах, мають велике значення, тому що визначають якість кінцевого продукту. Все це обумовлює різні вимоги до процесу плавлення кожної речовини, а отже, до режиму його проведення, і вимагає розробки відповідного обладнання (Ободович, 2021).

Вимоги до обладнання для нагріву та плавлення високов'язких речовин з низьким коефіцієнтом теплопровідності визначаються не тільки такими загальними вимогами, як економічність, простота, зручність обслуговування, а й спе-

цифічними вимогами, які є визначальними, — збереження початкових властивостей продукту: зовнішнього вигляду, кольору, смаку, запаху, біохімічних та харчових властивостей, збільшення терміну зберігання, забезпечення відповідних бактеріальних норм.

Отже, основні параметри теплового впливу на речовину, в тому числі і тривалість, не можуть бути обрані довільно, а повинні встановлюватися для кожної конкретної речовини на основі досліджень процесів тепломасообміну, які відбуваються в процесі нагрівання та плавлення.

Вуглеводні, такі як тверді жири, олія, вазелін, парафін, церезин, віск, нафтопродукти тощо, а також різного типу полімерні матеріали та окремі види харчових продуктів є складними сумішами твердих, рідких та піврідких вуглеводнів із різною молекулярною масою і тому не має визначеної температури переходу з одного агрегатного стану в інший. Усі ці речовини є неньютонівськими рідинами і характеризуються сильною залежністю в'язкості від температури (Hendrik, Romp., 1937; Лузгин та ін., 2018; Грабов та ін., 2010). Вплив температури на реологічні показники та на агрегатний стан таких продуктів відіграє важливу роль при їх транспортуванні та експлуатації, що робить промислові процеси нагрівання та плавлення занадто трудомісткими та енерговитратними (Atume Emmanuel Terhemem, 2020).

На підприємствах для нагрівання та плавлення вуглеводневих сумішей застосовують теплообмінні апарати періодичної дії з мішалками. Передача теплоти в цих апаратах здійснюється в нестационарному режимі з великим перепадом температур, що призводить до небажаних змін властивостей кінцевого продукту і самих речовин. При роботі на такому обладнанні неможливо домогтися рівномірного прогрівання всієї маси речовини, а отже, і якісної теплової обробки.

Традиційна технологія виготовлення жирів складається з таких стадій: підготовка основи, підготовка водно-молочної фази, введення їх в основу та отримання готової продукції.

На стадії підготовки основи здійснюються процеси нагрівання та плавлення. Вона складається з таких етапів (рис. 2): транспортування зі складу в тарі заводу-виробника, завантаження в пристрій для плавлення, процес плавлення, вивантаження з пристрою, дозування, транспортування рідкої речовини.

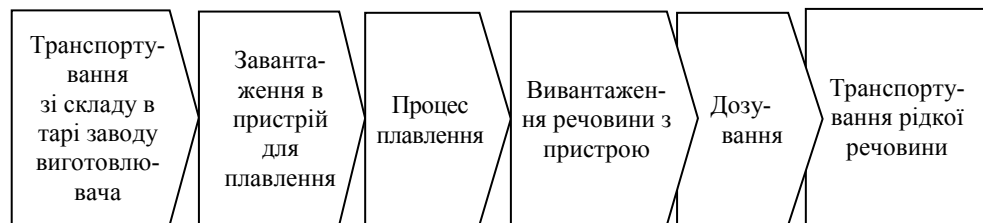


Рис. 2. Традиційна технологічна схема нагрівання та плавлення на стадії підготовки вуглеводневої основи

В Інституті технічної теплофізики розроблено технологію й установку прискореного нагрівання та плавлення вуглеводневих сумішей з низьким коефіцієнтом теплопровідності за рахунок контактного та конвективного переносу тепла,

що дає змогу інтенсифікувати процес і призводить до зменшення енерговитрат завдяки поєднанню процесів завантаження, плавлення, дозування, вивантаження і транспортування розплавленої речовини в одному технологічному циклі (рис. 3).

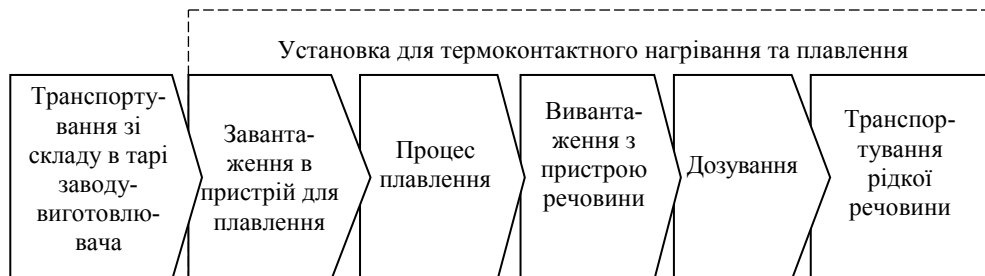
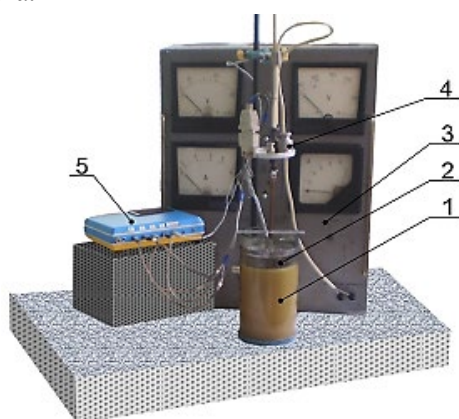


Рис. 3. Технологічна схема прискореного нагрівання та плавлення вуглеводневих сумішей

Створено експериментальний стенд (Грабов та ін., 2005; Долінський та ін., 2011) для визначення раціональної конструкції установки та оптимальних режимів її роботи (рис. 4). Стенд складається з таких елементів: смінь для досліджуваної вуглеводневої основи 1, дисковий нагрівач 2, платформа для додаткової наважки 4, пульт керування 3.

Спосіб плавлення твердої вуглеводневої суміші полягає у підведенні теплоти безпосередньо до фронту фазового перетворення за допомогою дискового нагрівача, який контактує із зовнішньою границею нерозплавленої речовини, що поступово переміщується в ній під дією сили тяжіння та перетікання розплавленої суміші через зазори між боковими поверхнями нагрівача та стінкою сміні. При цьому температура дискового нагрівача в зоні контакту з речовиною підтримується нижчою за температуру її деструкції. В товщі розплаву підтримання температури плавлення відбувається за рахунок конвективної теплопередачі від верхньої поверхні нагрівача.



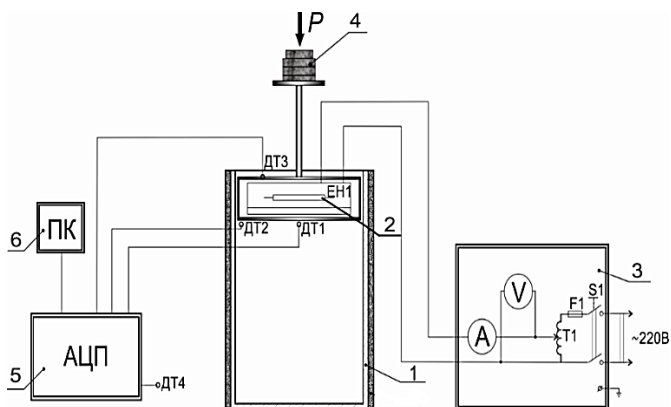


Рис. 4. Загальний вигляд стенда для експериментального дослідження процесів нагрівання та плавлення вуглеводневих сумішей: 1 — ємність з речовиною; 2 — електричний нагрівач; 3 — пульт керування; 4 — платформа для додаткової наважки; 5 — аналогово-цифровий перетворювач; 6 — персональний комп'ютер; ДТ1...ДТ4 — термопари

Для проведення досліджень на експериментальному стенді ємність заповнюється досліджуваною вуглеводневою сумішшю. На поверхню речовини опускається дисковий нагрівач. Якщо за програмою дослідження передбачається необхідність додаткового підвищення тиску на поверхню речовини, на платформу встановлюється додаткова наважка. На електричну спіраль нагрівача подається необхідна електрична напруга для забезпечення заданої підведеної потужності. Під час проведення дослідження за допомогою комп'ютера записуються показання термопар та реєструється швидкість занурення нагрівача у речовину, що досліджується.

На стенді для експериментального дослідження процесів нагрівання та плавлення вуглеводневих сумішей досліджено вплив теплофізичних параметрів (температура нагрівача, тиск на поверхню речовини, початкова температура вуглеводневої суміші) на швидкість перебігу процесів нагрівання і плавлення для визначення оптимальних параметрів.

Процеси нагрівання та плавлення можна розділити на 4 етапи (рис. 5).

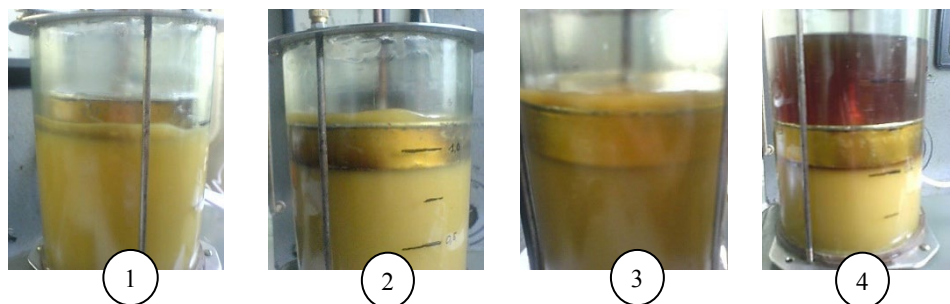


Рис. 5. Етапи процесу плавлення вазеліну на експериментальному стенді: 1 — початок плавлення та перехід розплаву через кільцевий зазор між нагрівачем та стінкою ємності; 2, 3 — процес плавлення (перетікання розплаву через зазор на верхню поверхню нагрівача); 4 — перетворення твердої фази у рідку

Результати і обговорення. Завданням досліджень на стенді для проведення процесів нагрівання та плавлення було знаходження оптимальних параметрів їх перебігу шляхом зміни температури нагрівача та величини тиску на поверхню речовини.

Отримано залежність швидкості плавлення вазеліну від тиску на його поверхню при різних температурах нагрівача (рис. 6). Як видно з рисунка, за рахунок підвищення тиску на поверхню речовини та температури нагрівача можна домогтися інтенсифікації процесу.

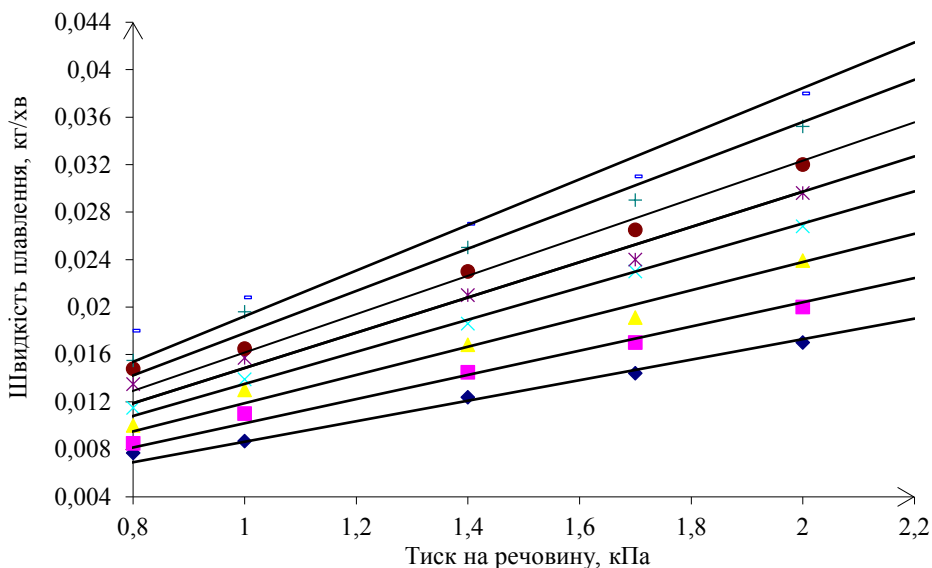


Рис. 6. Залежність швидкості плавлення вазеліну від тиску на його поверхню при різних температурах нагрівача: 1 — $T = 60^{\circ}\text{C}$; 2 — $T = 70^{\circ}\text{C}$; 3 — $T = 80^{\circ}\text{C}$; 4 — $T = 90^{\circ}\text{C}$; 5 — $T = 100^{\circ}\text{C}$; 6 — $T = 110^{\circ}\text{C}$; 7 — $T = 120^{\circ}\text{C}$; 8 — $T = 130^{\circ}\text{C}$

Проведено дослідження й отримано залежність температури розплаву під нагрівачем з урахуванням температури нагрівача при різних значеннях тиску (рис. 7). Вкрай важливо, щоб речовина під нагрівачем встигала розплавлятися і утворювалась плівка розплавленої речовини. Якщо нагрівач буде видавлювати речовину, вона не встигатиме до кінця розплавитись або буде перегріватись. З урахуванням того, що температура плавлення вазеліну лежить в інтервалі від 37 до 55°C , було визначено оптимальну область температур і режимні параметри, необхідні для того, щоб вуглеводнева суміш під нагрівачем встигала розплавлятися, але не перегрівалась.

Для підтримання температури плавлення вазеліну в інтервалі від 37 до 55°C із застосуванням нагрівача, нагрітого до 90 — 100°C , достатньо встановити величину тиску від $0,8$ до $1,7$ кПа.

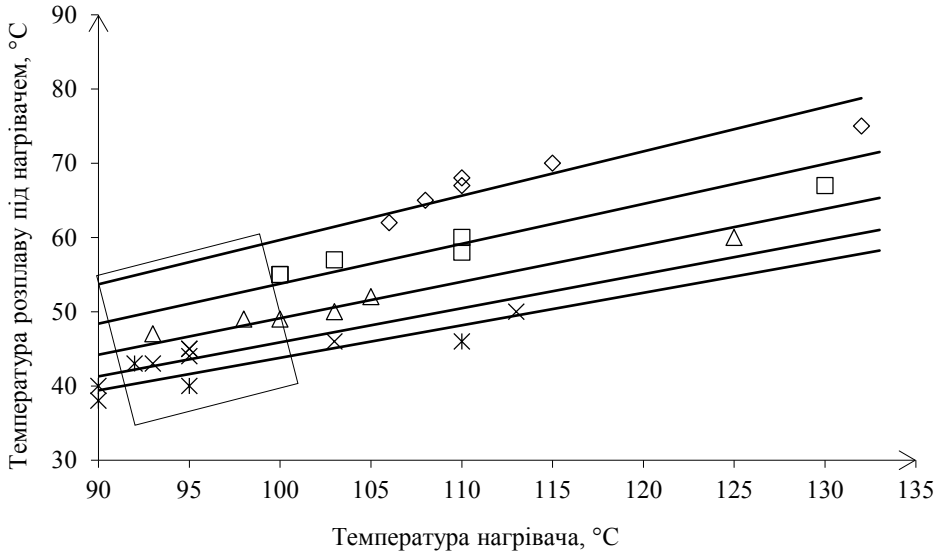


Рис. 7. Зміна температури розплаву вазеліну під нагрівачем залежно від температури нагрівача при різних тисках на поверхню речовини: 1 — $P = 0,8$ кПа; 2 — $P = 1$ кПа; 3 — $P = 1,4$ кПа; 4 — $P = 1,7$ кПа; 5 — $P = 2$ кПа

Експериментальні дослідження процесів нагрівання та плавлення вуглеводнів проводилися на лабораторному стенді, схематично представленому на рис. 8. Для аналізу результатів експерименту створено математичну модель, яка описує особливості гідродинаміки, тепло- та масообміну в процесі нагрівання та плавлення.

Математична модель базується на таких припущеннях: стаціонарність процесу нагрівання та плавлення; розплав — в'язка нестислива ньютонівська або не-ньютонівська рідина; теплофізичні властивості розплаву постійні; рух розплаву в зазорах — ламінарний ($Re < 1$); на стінках відсутнє прослизання (Ободович, 2021).

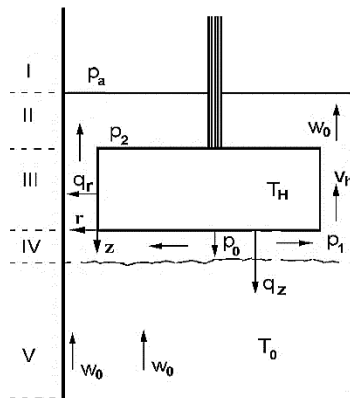


Рис. 8. Схема до моделі процесів нагрівання та плавлення з примусовим видалення розплаву: I — повітря; II — розплав над нагрівачем; III — нагрівання та доплавлення у кільцевому зазорі; IV — нагрівання і плавлення в дисковому зазорі; V — тверда речовина

Модель представлена базовими рівняннями теплопровідності, нерозривності та збереження кількості руху (1)—(5).

Рівняння теплопровідності в осьовому (1) та в радіальному напрямі (2)

$$\frac{\lambda}{\rho C_p} \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + w_0 \frac{\partial T}{\partial z} = 0 ; \quad (1)$$

$$\lambda \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0 . \quad (2)$$

Рівняння нерозривності:

$$G_m = \rho S v = \text{const} . \quad (3)$$

Рівняння збереження кількості руху:

$$\rho v_z \frac{dv_z}{dz} = - \frac{dp}{dz} + \mu(T) \frac{d^2 v_z}{dr^2} + \rho g . \quad (4)$$

Рівняння нагрівання та плавлення речовини:

$$Q = \frac{d(m C_p T)}{d\tau} + \frac{dm}{d\tau} \cdot L_{\text{melt}} . \quad (5)$$

Із застосуванням цих базових рівнянь розглядається течія розплаву в кільцевому зазорі під дією перепаду тиску і руху стінки та в дисковому зазорі під нагрівачем.

В'язка рідина тече у вузькому кільцевому каналі між двома співвісними циліндрами під дією перепаду тиску на кінцях каналу з урахуванням сили тяжіння. В прийнятій системі координат стінка зовнішнього циліндра рухається зі швидкістю нагрівача w_0 , в напрямку протилежному градієнту тиску, а внутрішній циліндр (нагрівач) є нерухомим (рис. 9, а). Задача полягає у визначенні розподілів напруження зсуву і швидкості потоку по ширині зазору, а також середньої швидкості потоку.

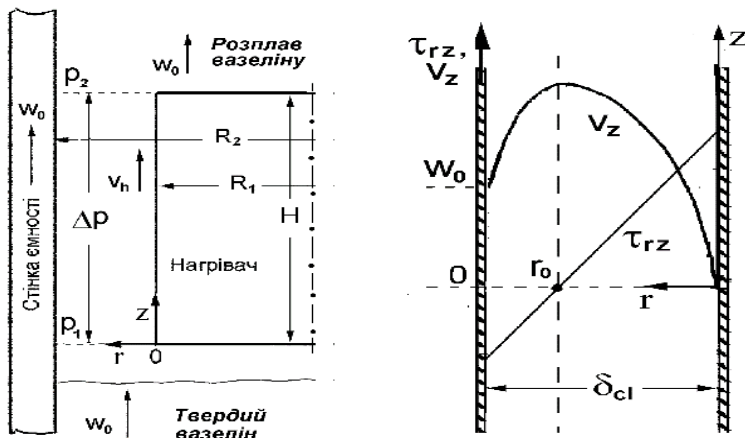


Рис. 9. Схема течії розплаву в кільцевому зазорі (а) та розподіл швидкості $v_{zs}(\delta)$ і зсувних напружень $\tau_{rz}(\delta)$ по ширині зазору (б)

Модель описує ламінарну течію в зазорі під дією перепаду тиску $p_1 - p_2$, а також під дією руху стінки ємності відносно нагрівача із швидкістю w_0 .

Для вирішення задачі треба визначити розподіл напруження тиску по ширині зазору $d\tau_{rz}/dr$. В задачах течії рідини в циліндричних трубах і кільцевих зазорах рівняння руху записується у вигляді:

$$\frac{d(r\tau_{rz})}{dr} = -\frac{dp}{dz} = \frac{p_1 - p_2}{H}. \quad (6)$$

Залежність напруження тиску від радіусу завжди пряма лінія (рис. 9, б), а тому похідна $d\tau_{rz}/dr$ є постійною, але невідомою величиною. Система рівнянь течії в трубах або зазорах має включати рівняння в'язкості для ньютонівської або не-ньютонівської рідини (7), яке при заданій в'язкості μ пов'язує напруження зсуву τ_{rz} на будь-якій відстані r із швидкістю потоку $v_z(r)$ в цій точці (рис. 9, б).

Для ньютонівської рідини рівняння в'язкості має вигляд:

$$\tau_{rz}(r) = -\mu \frac{dv_z}{dr}. \quad (7)$$

Напруження зсуву визначається з рівняння:

$$\tau_{rz}(r) = \frac{\Delta p}{H_h}(r - r_0). \quad (8)$$

У рівнянні (8) для $\tau_{rz} = f(r)$ міститься невідомий параметр r_0 (рис. 9, б), визначення якого необхідно для вирішення цієї задачі.

Інтегруючи рівняння (7) з урахуванням (8), одержимо рівняння (9, а, б) для швидкості потоку в будь-якій точці r зазору, які також містять невизначений параметр r_0 :

$$v_z(r) = \frac{\Delta p}{\mu H_h} \left(r_0 r - \frac{r^2}{2} \right) \text{ при } r \leq r_0; \quad (9a)$$

$$v_z(r) = w_0 - \frac{\Delta p}{\mu H_h} \cdot \left(r_0 (\delta - r) - \frac{\delta^2 - r^2}{2} \right) \text{ при } r_0 \leq r \leq \delta. \quad (9b)$$

Рівняння (9а) описує ліву гілку параболи (зліва від r_0), а рівняння (9б) — праву гілку (рис. 7, б). Обидва ці рівняння містять невідомий параметр r_0 . Зрозуміло, що в точці $r = r_0$ значення швидкості з рівнянь (9а) і (9б) будуть однаковими. Тому прирівнюючи швидкості в обох рівняннях знаходимо r_0 і далі розв'язуємо задачу:

$$r_0 = \frac{\delta_{cl}}{2} + \frac{\mu H}{\Delta p \cdot \delta_{cl}} w_0. \quad (10)$$

Розраховуємо середню швидкість розплаву в зазорі:

$$\bar{v}_z = v_{cl} = w_0 \frac{(\delta - r_0)}{\delta} + \frac{(p_1 - p_2)}{\mu H_h} \left[\frac{\delta^2}{3} - (\delta - r_0) \cdot r_0 \right]. \quad (11)$$

У рівняннях цієї моделі невизначеним залишаються тиск p_1 на вході в зазор, відносні швидкість руху стінки w_0 і в'язкість розплаву μ .

Для знаходження цих величин модель кільцевого зазору треба зв'язати з моделлю течії під нагрівачем і з моделлю плавлення, які і складають загальну модель апарата.

Моделювання течії розплаву в дисковому зазорі (рис. 10, а) пов'язане з моделюванням течії розплаву для кільцевого зазору, бо розплав безпосередньо переходить із дискового в кільцевий зазор як одна нерозривна течія. Це необхідно для визначення невідомого тиску p_1 , без якого неможливо було розглядати ці течії. Загальне переміщення розплаву в апараті відбувається внаслідок дії відомого тиску з боку нагрівача на вході і атмосферного тиску на виході.

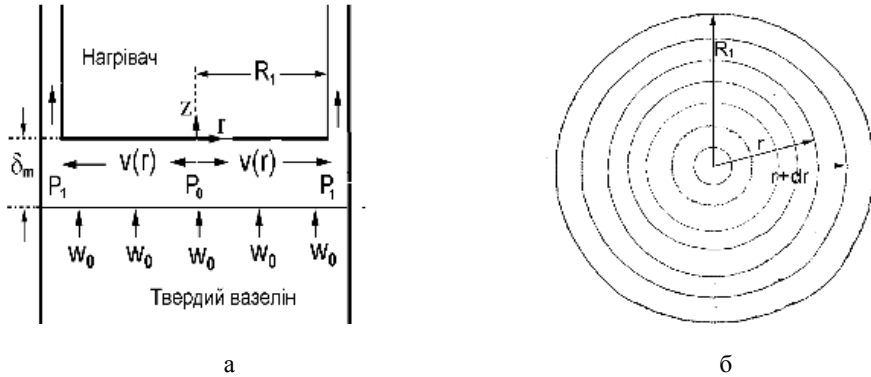


Рис. 10. Схема течії розплаву в дисковому зазорі під нагрівачем (а) та схема розбиття дискового зазору на елементарні зони (б)

Записується стаціонарне рівняння руху розплаву в дисковому зазорі під нагрівачем у вигляді рівняння Бернуллі для стаціонарних потоків. Ширина зазору δ_m приймається постійною. Це відстань між нижньою поверхнею нагрівача і поверхнею твердого вазеліну, тому вважається, що розплав витікає із-під зазору в напрямі r між двома твердими поверхнями. При витіканні розплаву із зазору δ_m на його місце з поверхні твердого вазеліну надходить нова порція розплавлено вазеліну із швидкістю w_0 , тобто з постійною швидкістю опускання нагрівача. Згідно з рівнянням нерозривності кількість вазеліну, що надходить у зазор в одиницю часу, дорівнює кількості вазеліну, яка виходить із зазору. Враховується також втрата напору в течії в зазорі внаслідок тертя на верхній та нижній поверхні зазору.

Рівняння руху течії на ділянці між r та $r + dr$ (рис. 10, б):

$$\rho \frac{v(r)}{2} + p(r) = \rho \frac{v^2(r + dr)}{2} + p(r + dr) + dW_{fr}. \quad (12)$$

Витрата енергії на в'язке тертя на цій ділянці:

$$dW_{fr} = \mu \frac{v(r)}{\delta_m} \cdot \frac{dS_z}{dS_r} = \mu \frac{w_0 r}{2\delta_m^3} dr. \quad (13)$$

Швидкість течії в зазорі:

$$v(r) = \frac{w_0 r}{2\delta_m}. \quad (14)$$

З урахуванням (13) та (14) рівняння руху має вигляд:

$$-\frac{dp}{dr} dr = \rho \cdot \frac{w_0^2 \cdot \pi r \cdot dr}{4\delta_m^2} + \mu \frac{w_0 r}{2\delta_m^3} dr. \quad (15)$$

Після інтегрування в межах від 0 до r одержимо:

$$p_0 - p(r) = \rho \cdot \frac{w_0^2 \cdot \pi r^2}{8\delta_m^2} + \mu \frac{w_0 r^2}{4\delta_m^3} = \frac{w_0 r^2}{4\delta_m^2} \left(\frac{\pi \rho w_0}{2} + \frac{\mu}{4\delta_m} \right). \quad (16)$$

Підставляючи в (15) $r = R_1$, знаходимо тиск p_1 на виході з-під нагрівача:

$$p_1 = p_0 - \rho \cdot \frac{w_0^2 \cdot \pi R_1^2}{8\delta_m^2} - \mu \frac{w_0 R_1^2}{4\delta_m^3} = p_0 - \frac{w_0 R_1^2}{4\delta_m^2} \left(\frac{\pi \rho w_0}{2} + \frac{\mu}{4\delta_m} \right). \quad (17)$$

Приймається, що в центрі дискового зазору ($r = 0$) на розплаві діє тиск p_0 (вага нагрівача), а на виході – невідомий тиск $p_1 < p_0$. Течія може відбуватися лише при перепаді тиску $\Delta p = p_0 - p_1$. Але тиск p_1 — це тиск на вході в кільцевий зазор між стінкою ємності і нагрівачем, який присутній у рівняннях моделі для кільцевого зазору. В результаті вирішення рівнянь течії в дисковому зазорі (12)—(17) з останнього рівняння (17) остаточно визначаємо тиск p_1 , який входить у систему рівнянь моделі.

Експериментальні та теоретичні дослідження дали змогу розробити та виготовити установку «Термобат-М» (рис. 11), в якій застосовано спосіб термоконтактного нагрівання та плавлення вуглеводневих сумішей. Установка для плавлення речовин «Термобат-М» складається з таких вузлів: корпус 1 з вантажопідйомним механізмом і упором 5 для центрування бочки з продуктом; щит управління 2; електронагрівальний апарат 8.

У корпусі 1 встановлений вантажопідйомний механізм для підйому та опускання електронагрівального апарата 8.

Вантажопідйомний механізм містить лебідку з ручкою 4 і перемикачем підйому/опускання 3 і тросом, з'єднаних через блоки з нижньою кареткою, над якою розташована верхня каретка. Каретки переміщуються по напрямних. На верхній каретці закріплений нагрівальний апарат 8.

Нагрівальний апарат 8 призначений для нагріву термоконтактного нагрівача 6 і плавлення речовини, а також відбору розплаву із зони контакту. Термоконтактний нагрівач 6 апарата 8 занурюється в речовину при її плавленні на задану глибину. Температура на поверхні розплаву підтримується вище температури плавлення речовини за рахунок конвективних потоків в розплаві.

Нагрівальний апарат 8 (рис. 11) містить: електричний проточний котел 13 з трубчастим електронагрівачем, розширювальним бачком 11 і циркуляційним насосом 15; термоконтактний нагрівач 6, виконаний у вигляді теплообмінника, з'єднаного двома паралельними трубами 7 з електричним котлом 13; кришка установки, адаптована до бочки з продуктом і має можливість переміщатись уздовж труб 7 підведення і відведення теплоносія; продуктової насос 14 для відводу розплаву, при цьому вихідна труба виконана у вигляді гнучкого шланга закріплюється на штуцер. Продуктової насос має режим реверсу. Насос відповідає вимогам GMP і має продуктивність при 750 об/хв — 23 л/хв.

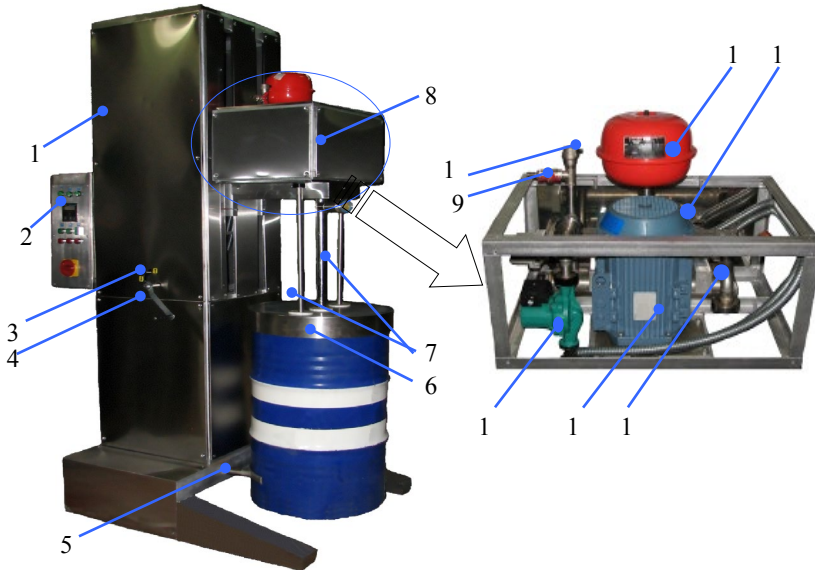


Рис. 11. Установка «Термобат-М»: 1 — корпус з вантажопідйомним механізмом; 2 — щит управління; 3 — перемикач вантажопідйомного механізму; 4 — ручка лебідки; 5 — упор; 6 — термоконтактний нагрівач з кришкою; 7 — трубопровід теплоносія; 8 — електронагрівальний апарат; 9 — штуцер для заливу теплоносія; 10 — повітровідвідник; 11 — розширювальний бачок; 12 — штуцер контролю переливу теплоносія; 13 — електрокотел; 14 — гвинтовий насос; 15 — циркуляційний насос

Результати досліджень термоконтактного нагрівання та плавлення вазеліну на промисловому зразку в Інституті технічної теплофізики НАНУ при температурі нагрівача 70...90°C та температурі навколишнього середовища 16...20°C показали, що при температурі нагрівача 70...80°C процес плавлення є довготривалим, а інтенсифікувати процес можливо за рахунок підвищення температури до 85...90°C. З урахуванням цього випробовування проводились при температурі 90°C.

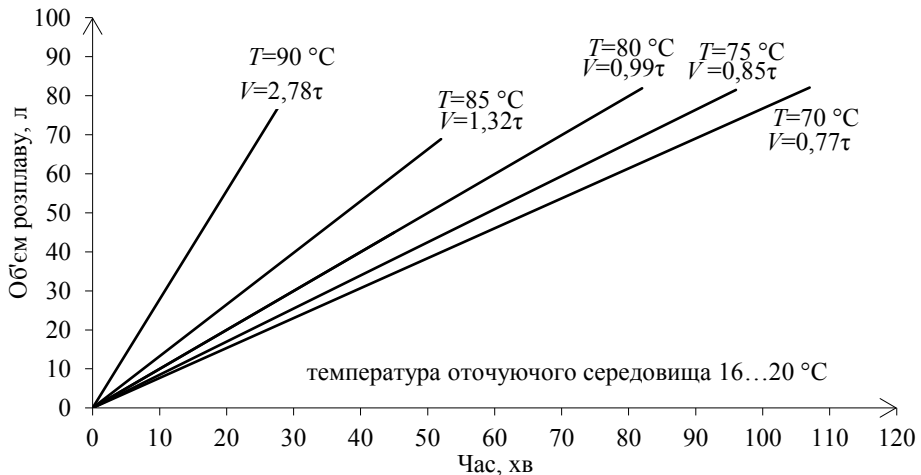


Рис. 12. Залежність об'єму розплаву від температури нагрівача

Випробовування установки для нагрівання та плавлення при різних початкових температурах речовини показали високу ефективність роботи установки, тому що, порівняно з існуючими, вдалося розплавити 200 л вазеліну за 2,5...3 год та отримати якісний рівномірно розплавлений вазелін у ємності.

Висновки

Проведені експериментальні дослідження дали змогу отримати залежність швидкості плавлення від температури нагрівача й тиску на поверхню речовини залежно від температури для розробки моделі.

Проведено моделювання процесів нагрівання та плавлення вуглеводневих сумішей з примусовим видаленням розплаву (модель течії розплаву в кільцевому зазорі під дією перепаду тиску і руху стінки та модель течії розплаву в дисковому зазорі під нагрівачем), що дало змогу розробити та виготовити установку. В установці об'єднано декілька технологічних операцій, що надає можливість інтенсифікувати процес плавлення та зменшити витрати енергії. В результаті проведених досліджень на виготовленій установці встановлено, що використання запропонованого методу та установки в 1,2...1,7 раза скорочує витрати енергії порівняно з іншими методами.

Література

Грабов, Л. М., Грабова Т. Л. & Мусаєлян Л. Ю. (2010). Теплофизические свойства жидких энергетических топлив. *Енергетика та електрифікація*, 2(318), 16—20.

Грабов, Л. М., Мерщій, В. І., Грабова, Т. Л. & Посулько, Д. В. (2005). Нове обладнання для теплової обробки харчових продуктів. *Харчова і переробна промисловість*, 24—25.

Грабов, Л. М., Мерщій, В. І., Бондарь, С. І. (2001). Спосіб плавлення речовини та пристрій для його здійснення (Патент України № 31435).

Долінський, А. А., Грабов, Л. М. & Степанова О. Є. (2011). Теплообмін при нагріванні і плавленні основ для виготовлення косметичних та фармацевтичних препаратів. *Промышленная теплотехника*, 33(3), 12—19.

Грабов, Л. Н., Мерщій, В. И., Ващенко, В. Н. & Писаренко, Т. В. (2000). Оптимизация процесса термодиффузионного плавления материалов. *Промышленная теплотехника*, 22(1), 94—99.

Лузгин, Н. Е., Утолин, В. В., Коченов, В. В., & Чекайкин, С. В. (2018). Исследование динамической вязкости расплавленного пчелиного воска. *Инновационная техника и технология*, 2, 33—37.

Ободович, О. М., Іваницький, Г. К. & Степанова, О. Є. (2021). Моделювання процесів нагрівання та плавлення вуглеводневих сумішей з примусовим видаленням розплаву. *Теплофізика та теплоенергетика*, 43, 1, 89—96.

Atume Emmanuel Terhemen, Absolute Prediction of the Melting and Freezing Points of Saturated Hydrocarbons Using Their Molar Masses and Atume's Series, *Adv. J. Chem. A*, 2020, 3(2), 122—130.

Ir. Hendrik A. Romp. (1937). *Oil Burning*. Springer-science+business media, b.v. 1st ed., 336 p.

JUSTIFICATION OF THE DURATION OF FERMENTATION OF MILK MIXTURE IN TECHNOLOGY OF SOUR MILK DESSERTS

U. Kuzmyk, O. Bass, N. Yushchenko, A. Makhmudov, I. Mukoliv
National University of Food Technologies

Key words:

Sour milk dessert
Water activity
Active acidity
Sublimated fruits
Rheological properties

Article history:

Received 08.09.2021
Received in revised form
22.09.2021
Accepted 05.10.2021

Corresponding author:

U. Kuzmyk

E-mail:

ukuzmik@gmail.com

ABSTRACT

A promising area is the development of resource-saving food technologies, namely the development of innovative products using raw materials of plant and animal origin.

The study of the fermentation duration process was carried out in terms of water activity, active acidity, degree of syneresis and changes in shear stress depending from the rate of deformation of clots. It was found that at the beginning of the fermentation process, active acidity (pH) was 6.2, water activity — 0.992. The sample was characterized by uniform, viscous consistency. During 6 h of fermentation, the active acidity decreased by 1.4 pH units, and the activity of water was 0.982. A strong, dense clot was formed, serum was not separated. After 8 h of fermentation, the active acidity and activity of water remained unchanged.

According to the results of the study of the degree of syneresis, it was found that the indicator decreased with increasing duration of fermentation of the mixture, there was a tendency to reduce the amount of separated serum. During 8 h of fermentation, the value of syneresis was 10%, which is almost three times less than the duration of fermentation for 2 hours. The shear stress increased.

The structuring process was analyzed by the results of the constructed rheological curves of the dependence of shear stress and strain rate of the studied samples. After 8 h of fermentation, the shear stress reached 160 Pa. At this value, the shear stress of the structuring was sufficient to prevent spontaneous serum separation. This is because sublimated apples and bananas contain a solution of fiber which retains free moisture. The presence of dry whey protein concentrate gives a delicate plastic consistency to the sour milk dessert due to the high dispersion of whey protein micelles and the peculiarities of the gelation process.

Therefore, the duration of fermentation of the milk mixture is 6—8 h at a temperature of $40 \pm 2^\circ\text{C}$, followed by cooling for 8—16 h to the temperature of $4 \pm 2^\circ\text{C}$. As a result of the interaction of milk proteins and functional ingredients, a dense consistency of sour-milk dessert was obtained. The strength of their bonds will affect the consistency, the degree of syneresis, the rheological properties and the stability of the quality during storage.

DOI: 10.24263/2225-2924-2021-27-5-11

ОБҐРУНТУВАННЯ ТРИВАЛОСТІ СКВАШУВАННЯ МОЛОЧНОЇ СУМІШІ В ТЕХНОЛОГІЇ КИСЛОМОЛОЧНИХ ДЕСЕРТІВ

У. Г. Кузьмик, О. О. Басс, Н. М. Ющенко, А. М. Махмудов, І. М. Миколів
Національний університет харчових технологій

У статті описано процес тривалості сквашування молочної суміші в технології кисломолочних десертів. Дослідження здійснювали за показником активності води, активної кислотності, ступеня синерезису та зміни напруження зсуву від швидкості деформації згустків. Виявлено, що на початку процесу сквашування активна кислотність становила 6,2 од рН, активність води — 0,992. Зразок характеризувався однорідною, в'язкою консистенцією. Протягом 6 год сквашування активна кислотність знизилася на 1,4 од рН, а активність води становила 0,982. При цьому утворився міцний, щільний згусток, сироватка не відокремлювалась. Після 8 год сквашування активна кислотність та активність води залишились без змін.

За результатами дослідження ступеня синерезису встановлено, що показник зменшується при збільшенні тривалості сквашування суміші, спостерігається тенденція зменшення кількості відділеної сироватки. Протягом 8 год сквашування значення синерезису становило 10%, що майже втричі менше ніж при тривалості сквашування протягом 2 год. При цьому зростало напруження зсуву.

Процес структурування проаналізовано за результатами побудованих реологічних кривих залежності напруження зсуву та швидкості деформації досліджуваних зразків. Через 8 год сквашування показник напруження зсуву досягав 160 Па. За такого значення показника напруження зсуву структурування було достатнім для запобігання спонтанного відділення сироватки. Це пов'язано з тим, що сублімовані яблуко та банан містять розчинну клітковину, яка утримує вільну вологу. Присутність сухого концентрату сироваткових білків надає кисломолочному десерту ніжної пластичної консистенції за рахунок високої дисперсності міцел сироваткових білків та особливостей процесу гелеутворення.

Отже, тривалість сквашування молочної суміші становить 6—8 год за температури $40 \pm 2^\circ\text{C}$ з подальшим доохолодженням протягом 8—16 год до температури $4 \pm 2^\circ\text{C}$. У результаті взаємодії молочних білків і функціональних інгредієнтів отримано щільну консистенцію кисломолочного десерту. Міцність їх зв'язків впливатиме на консистенцію, ступінь синерезису, реологічні властивості та стабільність якості під час зберігання.

Ключові слова: кисломолочний десерт, активність води, активна кислотність, сублімовані фрукти, реологічні властивості.

Постановка проблеми. При виборі способу виробництва харчового продукту необхідно передбачити запровадження ресурсозберігаючих технологій, отримання продукту високої якості, розроблення інноваційних продуктів з використанням сировини рослинного й тваринного походження, зниження виробничих витрат (Kapetanakou, Passiou, Chalkou, & Skandamis, 2021).

Для розширення асортименту продуктів харчування та підвищення харчової цінності використовують рослинну сировину. Плодово-ягідна сировина — це

джерело біологічно активних речовин, таких як вітамінів, фенольних сполук, мінеральних речовин тощо. Такі речовини володіють імуномоделюючою, радіопротекторною, антиоксидантною властивістю. Окрім того, рослинна сировина володіє технологічними властивостями, надає колір продукту, проявляє стабілізуючі властивості тощо (Штонда & Пасічний, 2019; Павлюк, Погарська, Берестова, Крячко & Лавриненко, 2010).

Найбільш доступною та популярною фруктовою сировиною є плоди яблук і банан, що відрізняються високим вмістом біологічно активних речовин (аскорбінової кислоти, β -каротину, мінеральних речовин, пектинових, дубильних речовин тощо). Доведено, що саме за рахунок вмісту поживних речовин така сировина проявляє функціонально-технологічні властивості (Wang, Kristo & LaPointe, 2019; Yingyuen, Sukrong & Phisalaphong, 2020).

Застосування плодово-ягідної сировини у вигляді порошків сублімаційного сушіння набуло широкої популярності в промисловості. Висока якість і біологічна повноцінність такої сировини пояснюється тим, що обробці може піддаватися лише свіжа сировина. Біологічні та фізико-хімічні зміни в продукті мінімальні. Продукти легко поглинають при відновленні вологу (можуть відновлюватися навіть у холодній воді), зберігають первинні властивості, колір, смак, запах (Тарасенко та ін., 2015).

Присутність сухого концентрату сироваткових білків надає продуктам нижньої пластичної консистенції за рахунок високої дисперсності міцел сироваткових білків та особливостей гелеутворення. Також вони мають високу біологічну цінність, тому можуть слугувати додатковим збагачуючим компонентом (Однорог & Поліщук, 2018).

Під час виробництва молочних продуктів застосовують стабілізуючі речовини. Вони забезпечують стабільну консистенцію, підвищують стійкість продукту до дії зовнішніх факторів протягом терміну зберігання продукту, що досягається в результаті сукупності хімічних і фізичних процесів. Як натуральний стабілізатор використовують желатин, що утворює високоеластичний термозворотний гель з точкою плавлення в межах рівня температури тіла людини (менше 37°C) як гелеутворювач. Гелі желатину формуються за рахунок зв'язків різної природи (водневих, гідрофобних, електростатичних) (Соломон, Новгородська & Бондар, 2019).

Зважаючи на вищезазначене, сформульовано основні положення актуальності дослідження: необхідність покращення структури харчування населення за рахунок біологічно активних речовин рослинної сировини; доцільність удосконалення технології кисломолочних десертів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Консистенція кисломолочних продуктів обумовлена сукупністю багатьох факторів: якістю та хімічним складом сировини, дотриманням режимів технологічного процесу, механічним впливом на згусток тощо.

Досліджено вплив рисового борошна на фізико-хімічні показники ферментованих молочних продуктів. Опрацьовано рецептури та способи застосування рисового борошна у складі продуктів, виготовлених із молока або вершків. Встановлено, що використання рисового борошна у кількості від 1,5 до 3,5 г /100 г продукту не погіршує органолептичні властивості та забезпечує формування стійкої консистенції кисломолочних згустків (Романчук, Рудакова, Моїсеева & Гондар, 2016). Проте не досліджено показник активності води, що

має вплив на формування структурно-механічних властивостей молочного продукту.

Розроблено молочний десерт з фініковим сиропом і порошком. При використанні такого наповнювача не потрібно додатково вводити цукор, що надасть продукту дієтичних властивостей. До того ж фініки (*Phoenix dactylifera L.*) джерело біологічно активних речовин (Djaoud *et al.*, 2020). Проте у цьому дослідженні вплив наповнювача на фізико-хімічні властивості молочного десерту не вивчався.

Досліджено, що додавання 1% яблучного порошку перед ферментацією йогурту сприяє агрегації міцел казеїну. Як наслідок, спричиняє початок гелеутворення при більш високому рН (5,9) (Wang, Kristo & LaPointe, 2019).

Обґрунтовано доцільність внесення білкових концентратів (КСБ-УФ-65, КМБС-65) у кисломолочні напої в кількості від 3 до 5% з метою покращання їхньої консистенції та стабільності впродовж зберігання (Рудюк, Пасічний, Хорунжа & Красуля, 2019). Але авторами не досліджено процес ферментації при виробництві молочних продуктів.

Проведено дослідження можливості поєднання кокосового та знежиреного молока в технології сиру кисломолочного. До складу цього продукту входить знежирене та кокосове молоко (9—12%), м'якоть банана (6—9%). Отриманий продукт характеризувався вмістом сухих речовин 35,04%, вологою 64,96%, масовою часткою жиру 5,5% та вуглеводів 23,1%, мінеральними речовинами 1% (Kumar, Chauhan, Rajani & Sabikhi, 2018).

Відома технологія йогурту (Jayabalan, Magesh, Rajeshkannan & Rathakrishnan, 2020), який виробляють з пастеризованої суміші молока, цукру з додаванням порошку м'якоти банана та бананових стебел. Оптимальним співвідношенням складових є 82,6% молока, 9,98% цукру, 2,03% порошку м'якоти банана та 2,25% порошку бананових стебел.

Аналіз наукової інформації показав, що розроблення інноваційних продуктів з використанням сировини рослинного й тваринного походження є актуальним.

Мета статті: дослідження процесу тривалості сквашування молочної суміші в технології кисломолочних десертів.

Матеріали і методи. Для одержання дослідних зразків десерту кисломолочного з фруктами, збагаченого сироватковими білками, обрано таку сировину: молоко знежирене з масовою часткою жиру не вище 0,05%, кислотністю не вище 21°Т, отримане сепаруванням незбираного молока, концентрат сироваткових білків, отриманий способом ультрафільтрації (КСБ-УФ), желатин швидкорозчинний харчовий, порошок яблука та банана сублимаційного сушіння згідно з чинними нормативними документами.

Дослідження активності води (A_w) у дослідних зразках здійснювали на аналізаторі активності води «HygroLab 2» (Rotronic, Швейцарія) за температури 20°С в діапазоні вимірювання 0...1 A_w (0...100% rh). Визначення активної кислотності (рН) здійснювали відповідно до ДСТУ 8550:2015 (Кузьмик, Ющенко, Басс & Миколів, 2020).

Ступінь синерезису згустків визначали центрифужним методом. Дослідний зразок після перемішування вносили в центрифужні мірні пробірки у кількості 10 см³ та центрифугували протягом 30 хв за частоти обертів 3000 хв⁻¹. Через кожні 5 хв визначали об'єм сироватки, що виділявся (см³) (Рудюк, Пасічний, Хорунжа & Красуля, 2019).

Реологічні властивості отриманих згустків визначали на ротаційному віскозиметрі «Rheotest II» з вимірювальною системою циліндр-циліндр S/N шляхом зняття кривих кінетики деформації (течії) (Kochubei-Lytvynenko, Yatsenko, Yushchenko & Kuzmyk, 2018).

Викладення основних результатів дослідження. Модельні зразки молочної суміші готували таким чином: у знежирене пастеризоване молоко під час інтенсивного перемішування додавали сухий концентрат сироваткових білків (4—6%), сублімовані фрукти (4—7%) за температури $40 \pm 5^\circ\text{C}$, які попередньо перемішали та просіяли. Желатин (0,5—0,7%) попередньо витримували в холодній воді, не менше 30 хв, потім розчин нагрівали до температури $60 \pm 5^\circ\text{C}$ при перемішуванні до повного розчинення. Отриману молочну суміш при перемішуванні нагрівали до 80°C , додавали розчин желатину і нагрівали до 90°C з витримкою 55 ± 5 с для пастеризації. Потім суміш охолоджували до температури $55 \pm 5^\circ\text{C}$, ретельно перемішували, охолоджували до температури заквашування $40 \pm 2^\circ\text{C}$ і вносили закваску прямого внесення (0,3—0,5%), яка містить мікроорганізми біфідо- і лактобактерій, до складу яких входить *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii ssp. Bulgaricus*, *Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium lactis*, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus rhamnosus*, *Lactobacillus paracasei*, *Bifidobacterium infantis*. Суміш перемішували 15—20 хв і сквашували протягом 12 год до утворення міцного згустку.

У процесі сквашування досліджено активну кислотність. Результати наведені на рис. 1.

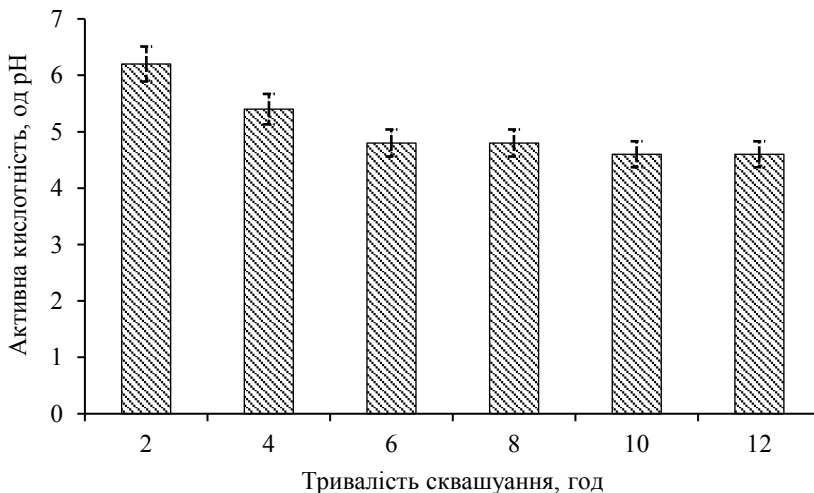


Рис. 1. Зміна активної кислотності молочної суміші в процесі сквашування

Аналізуючи отримані дані, можна побачити, що на початку процесу сквашування активна кислотність становила 6,2 од рН. Зразок характеризувався однорідною, в'язкою консистенцією. Протягом 6 год сквашування під впливом молочної кислоти, що утворюється внаслідок молочнокислого бродіння лактози, активна кислотність знизилась на 1,4 од рН, утворився міцний, щільний згусток,

сироватка не відокремлювалась. Після 8 год сквашування активна кислотність залишалась без змін, тому для досягнення мінімально необхідної активної кислотності 4,8 од рН тривалість сквашування можна рекомендувати до 8 год.

Подібну залежність спостерігали за показником активності води (рис. 2).

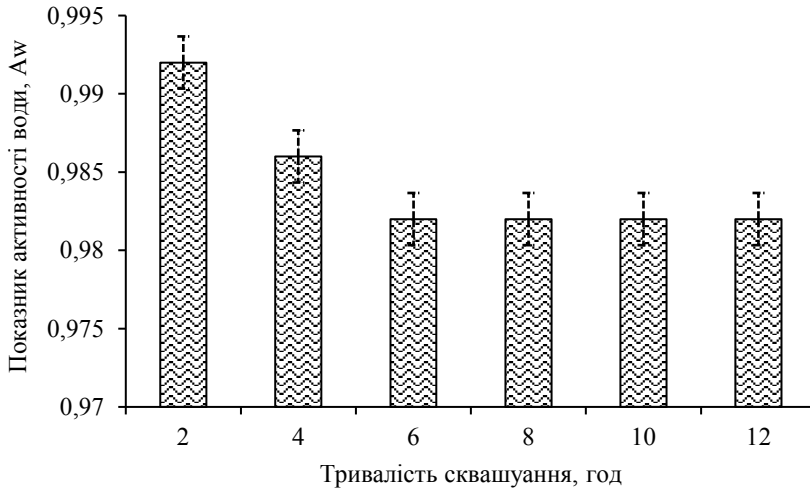


Рис. 2. Залежність показника активності води від тривалості сквашування

При збільшенні тривалості сквашування молочної суміші показник активності води зменшувався з 0,992 до 0,982. Це обумовлено властивістю високомолекулярних сполук білків і розчинної клітковини зв'язувати вологу, що уповільнює процес відділення сироватки за рахунок набрякання сухих компонентів. Після 8 год сквашування показник залишався без змін на рівні 0,982.

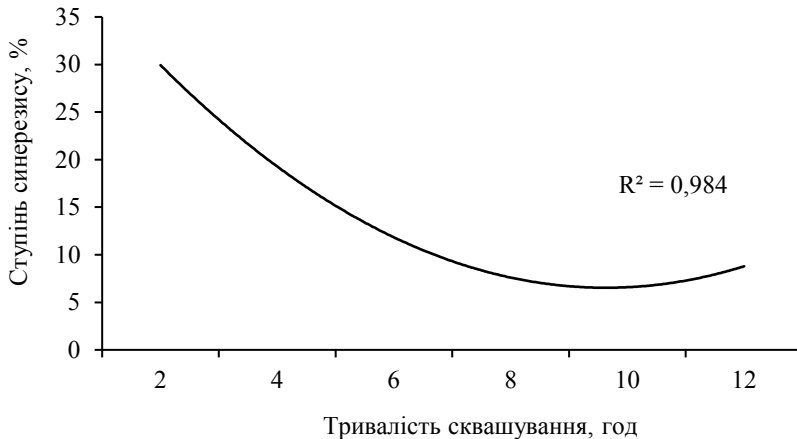


Рис. 3. Зміна ступеня синерезису під час сквашування

Взаємодія між молочними білками та функціональними інгредієнтами впливає на якість продукту. Міцність їх зв'язків впливає на консистенцію, ступінь

синерезису, реологічні властивості та стабільність якості під час зберігання. Дані результату зміни ступеня синерезису під час сквашування молочної суміші наведено на рис. 3.

За результатами дослідження ступеня синерезису встановлено, що показник зменшується при збільшенні тривалості сквашування суміші, спостерігається тенденція зменшення кількості відділеної сироватки. Протягом 8 год сквашування значення синерезису становить 10%, що майже втричі менше ніж при тривалості сквашування протягом 2 год. При цьому зростає напруження зсуву (рис. 4), згусток характеризується більш щільною консистенцією.

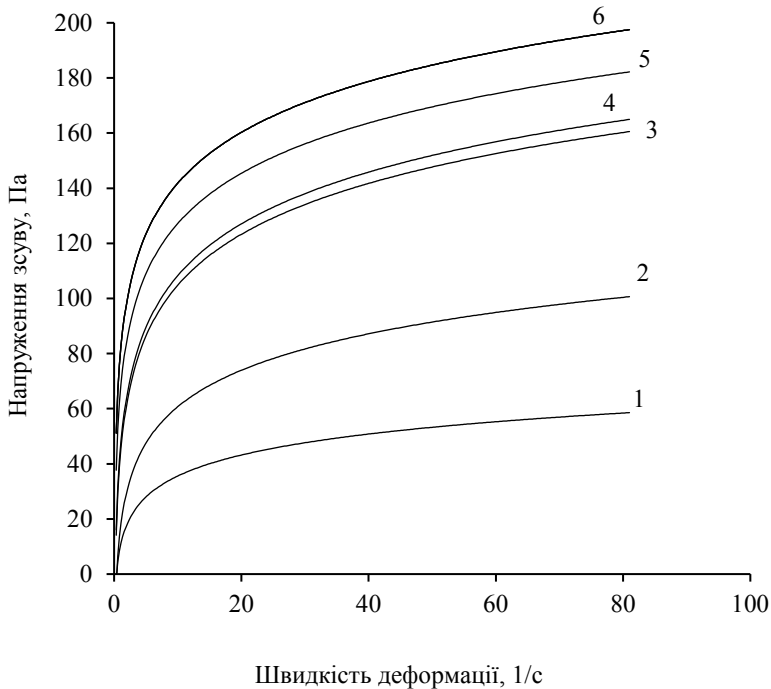


Рис. 4. Залежність напруження зсуву від швидкості деформації згустків протягом тривалості сквашування (1 — 2 год, 2 — 4 год, 3 — 6 год, 4 — 8 год, 5 — 10 год, 6 — 12 год)

Процес структурування проаналізовано за результатами побудованих реологічних кривих залежності напруження зсуву та швидкості деформації досліджуваних зразків. Через 8 год сквашування показник напруження зсуву досягає рівня 160 Па. За такого значення показника напруження зсуву структурування було достатнім для запобігання спонтанного відділення сироватки.

Представлені дані свідчать, що при сумісному використанні молочних білків з рослинною сировиною покращуються реологічні властивості отриманого продукту. Утворюється гетерогенна система за участю молекул вуглеводів і білків, що збільшує кількість зв'язаної вологи та міцність структури готового продукту.

Висновки

Для обґрунтування процесу тривалості сквашування молочної суміші в технології кисломолочних десертів досліджено показники активної кислотності, активності води, ступінь синерезису та реологічні властивості згустків. За аналізом показників встановлено, що тривалість сквашування молочної суміші становить 6—8 год за температури $40 \pm 2^\circ\text{C}$ з подальшим доохолодженням протягом 8—16 год до температури $4 \pm 2^\circ\text{C}$, в результаті чого отримано щільну консистенцію кисломолочного десерту.

При збільшенні тривалості сквашування молочної суміші показник активності води зменшувався з 0,992 до 0,982. Це пов'язано з тим, що яблуко та банан містять розчинну клітковину, яка дає змогу утримувати вільну вологу. Вони також запобігатимуть відділенню сироватки під час зберігання кисломолочних продуктів, що вдається завдяки зменшенню ступеня синерезису молочних згустків. Протягом 8 год сквашування молочної суміші значення синерезису становило 10%.

Присутність сухого концентрату сироваткових білків надасть кисломолочному десерту ніжної пластичної консистенції, пружну структуру за рахунок високої дисперсності міцел сироваткових білків та особливостей гелеутворення.

Література

Kapetanakou, A. E., Passiou, K. E., Chalkou, K., Skandamis, P. N. (2021). Assessment of spoilage potential posed by *Alicyclobacillus* spp. in plant-based dairy beverages mixed with fruit juices during storage. *Journal of Food Protection*, 84(3), 497—508.

Штонда, О. А., Пасічний, В. М. (2019). Перспективи використання фруктово-ягідної сировини у технології м'ясних натуральних напівфабрикатів. *Наукові праці НУХТ*, 25(6), 194—200.

Павлюк, Р. Ю., Погарська, В. В., Берестова, А. А., Крячко, Т. В., Лавриненко, В. В. (2010). Інноваційні технології функціональних тонізуючих напоїв та дресінгів з використанням молочної сироватки та наноструктурованого плодовоовочевого поре. *Наукові праці ОНАХТ*, 38(2), 239—244.

Wang, X., Kristo, E., LaPointe, G. (2019). The effect of apple pomace on the texture, rheology and microstructure of set type yogurt. *Food Hydrocolloids*, 91, 83—91.

Yingyuen, P., Sukrong, S., Phisalaphong, M. (2020). Isolation, separation and purification of rutin from Banana leaves (*Musa balbisiana*). *Industrial Crops and Products*, 149, 112307.

Тарасенко, Т. А., Євлаш, В. В., Неміріч, О. В., Вашека, О. М., Гавриш, А. В., Кравченко, О. І. (2015). Теоретичне дослідження способів сушіння овочів та фруктів. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького*, 17(4), 148—158.

Однорог, М. Р., & Поліщук, Г. Є. (2018). Застосування концентрату сироваткових білків для стабілізації структури сметани. *Харчова промисловість*, 23, 6—12.

Соломон, А. М., Новгородська, Н. В., & Бондар, М. М. (2019). *Кисломолочні десерти з подовженим терміном зберігання: Монографія*. Вінниця: РВВ ВНАУ.

Романчук, І. О., Рудакова, Т. В., Моїсеєва, Л. О., & Гондар, О. П. (2016). Рисове борошно як стабілізатор у складі кисломолочних продуктів. *Продовольчі ресурси*, (7), 46—52.

Djaoud, K., Boulekbache-Makhlouf, L., Yahia, M., Mansouri, H., Mansouri, N., Madani, K., Romero, A. (2020). Dairy dessert processing: Effect of sugar substitution by date syrup and powder on its quality characteristics. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(5), 14414.

Рудюк, В. П., Пасічний, В. М., Хорунжа, Т. О., Красуля, О. О. (2019). Дослідження впливу використання білкових концентратів на реологічні показники кисломолочних продуктів та терміни їх зберігання. *Харчова промисловість*, 25, 70—77.

Kumar, C. T. Manoj, Chauhan, O. P., Rajani, C. S., Sabikhi, Latha (2018). Effect of coconut milk, skim milk powder, and banana pulp on sensory and functional properties of coconut curd and its applicability as a carrier for probiotic microorganisms. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(2), e13460.

Jayabalan, Kaliyamoorthy, Magesh, Arangasamy, Rajeshkannan, Rajan, Rathakrishnan, Palani (2020). Fortification of Fibre in Yogurt using High Fibre Banana Stem and Jack Fruit Powder. *International Journal of Pharmaceutical Investigation*, 10(2), 127—131.

Кузьмик, У. Г., Ющенко, Н. М., Басс, О. О., Миколів, І. М. (2020). Дослідження показника активності води паст кисломолочних. *Наукові праці НУХТ*, 6, 174—179.

Kochubei-Lytvynenko, O., Yatsenko, O., Yushchenko, N., & Kuzmyk, U. (2018). Стабілізаційна система для масляних паст на основі сухих концентратів молочного білка. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5—11(95), 30—36.

TECHNOLOGY OF CURD PASTE WITH WHEY PROTEINS HYDROLYSATE

V. Yukalo, K. Datsyshyn, L. Storozh, G. Semenyshyn

Ternopil Ivan Puluj National Technical University

Key words:

Allergy to whey proteins
Curd
Curd paste
Whey proteins
hydrolysate

Article history:

Received 10.09.2021
Received in revised form
20.09.2021
Accepted 08.10.2021

Corresponding author:

V. Yukalo
E-mail:
biotech@tu.edu.te.ua

ABSTRACT

The promising method to increase the biological value of products based on curd is to enrich them with whey proteins, which perform important biological functions and are precursors of many biologically active peptides. However, basic whey proteins, in addition to their high nutritional value, are also one of the strongest allergens. The enzymatic hydrolysis of whey proteins is most often used to reduce their allergenicity. Therefore, the aim of the work was to develop a technology of curd product enriched with low-allergenic whey proteins hydrolysate, obtained in conditions which provide preservation of natural biologically active peptides. Whey proteins concentrate was used as a substrate to obtain a hydrolysate of whey proteins. Proteolysis was performed by pancreatin in the conditions with the maximum yield of biologically active peptides. As a basis for the manufacture of curd paste, curd with a mass fraction of fat 9%, made by traditional technology was taken. To obtain the finished product, the introduction of low-allergenic whey proteins hydrolysate to the fermented milk base was proposed. Samples of curd paste with different amounts of hydrolysate, 1%, 2%, 3%, 4%, and 5% from the weight of the base, were used for the research.

Organoleptic and physicochemical parameters, as well as the content of low molecular weight peptides were determined in the obtained product. It is established that the finished product is characterized by organoleptic and physicochemical parameters which are characteristic of this type of product and depend on the amount of hydrolysate. It is recommended to add flavoring agents to samples with the maximum amount of hydrolysate to improve consumer properties. The results of chromatographic studies show an increase in the obtained product of the low molecular weight peptide fraction. Known natural biologically active peptides from whey proteins are characterized by such molecular masses. Taking into account the composition, results of organoleptic and physico-chemical analysis, chromatographic and electrophoretic studies the proposed product may be recommended for nutrition of persons with allergies to whey proteins.

ТЕХНОЛОГІЯ ПАСТИ СИРКОВОЇ З ГІДРОЛІЗАТОМ БІЛКІВ СИРОВАТКИ МОЛОКА

В. Г. Юкало, К. Є. Дацишин, Л. А. Сторож, Г. М. Семенишин
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Підвищити біологічну цінність виробів на основі сиру кисломолочного можна шляхом збагачення їх сироватковими білками, що виконують важливі біологічні функції та є попередниками багатьох біологічно активних пептидів. Однак основні сироваткові білки не тільки володіють високою харчовою цінністю, а також є одними із найсильніших алергенів. Для зниження алергенності найчастіше використовують їх ферментативний гідроліз.

У статті розроблено технологію сиркового виробу, збагаченого низькоалергенним гідролізатом білків сироватки, що отриманий в умовах збереження природних біологічно активних пептидів. Для отримання гідролізату білків сироватки молока як субстрат використовували концентрат сироваткових білків. Протеоліз проводили ферментним препаратом «Панкреатин» в умовах максимального виходу біологічно активних пептидів. Як основу для виготовлення пасти сиркової було використано сир кисломолочний з м.ч.ж. 9%, виготовлений за традиційною технологією. Для отримання готового продукту запропоновано внесення низькоалергенного гідролізату білків сироватки до кисломолочної основи. Для проведення досліджень було використано зразки пасти сиркової із різною кількістю гідролізату, 1%, 2%, 3%, 4%, та 5% від маси основи.

В отриманому продукті проводили визначення органолептичних і фізико-хімічних показників, а також вмісту низькомолекулярних пептидів. Встановлено, що готовий продукт характеризується хорошими органолептичними, а також фізико-хімічними показниками, які властиві для такого типу продуктів та залежать від кількості внесеного гідролізату. До зразків із максимальною кількістю гідролізату рекомендовано вносити смако-ароматичні наповнювачі для покращення споживчих властивостей. Результати проведених хроматографічних досліджень показують підвищення в отриманому продукті низькомолекулярної пептидної фракції. Такими молекулярними масами характеризується більшість природних біологічно активних пептидів з білків сироватки молока. Враховуючи склад, результати органолептичного та фізико-хімічного аналізу, хроматографічних та електрофоретичних досліджень, запропонований продукт може бути рекомендованим для харчування осіб з алергією на білки сироватки молока.

Ключові слова: алергія на білки сироватки, сир кисломолочний, паста сиркова, гідролізат білків сироватки молока.

Постановка проблеми. Зі зростанням популярності здорового харчування у всьому світі спостерігається попит на харчові продукти з високим вмістом білка. Середньодобова норма споживання білка для малорухливої людини повинна становити 0,8 г на кг маси тіла на день (г/кг/добу) (Кручаниця та ін., 2019). Ця

кількість білка необхідна для підтримки позитивного азотистого балансу та нормального обміну білків в організмі. Незамінним джерелом білка в раціоні харчування споживачів різних вікових груп є сир кисломолочний. Він використовується у харчуванні як самостійний продукт або ж як основа для виробництва сиркових виробів. Сир кисломолочний і сиркові вироби містять усі незамінні амінокислоти. У процесі травлення сиркової пасти утворюється велика кількість біологічно активних пептидів (БАП) казеїнового походження (Юкало, Сторож & Юкало, 2012). Біологічно активні пептиди з протеїнів сироватки молока водночас практично відсутні. Це суттєво знижує біологічну цінність сиркових паст порівняно з продуктами, що включають білки казеїнового комплексу і сироватки. Для вирішення цього питання можна просто збагачувати сиркову пасту сироватковими білками у різному вигляді (концентрат, ізолят). Проте основні білки сироватки, β -лактоглобулін та меншою мірою α -лактальбумін є сильними алергенами, особливо для дітей (Villa, Costa, Oliveira & Mafra, 2018; Yu, Luo, Chen, Liu & Zhu, 2018). У зв'язку з цим актуальним питанням є розробка сиркового продукту, який містив би всі незамінні амінокислоти та біологічно активні пептиди з усіх протеїнів молока та не спричиняв алергії у споживачів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Білки сироватки молока характеризуються хорошими функціональними властивостями і широко використовуються при виробництві харчових продуктів. Сироваткові білки є багатим джерелом незамінних амінокислот, в тому числі амінокислот з розгалуженим ланцюгом, таких як лейцин, ізолейцин та валін, а також численних біоактивних пептидів (Brandelli, Daroit & Correa, 2015; Mann, Athira, Sharma, Kumar & Sarkar, 2019). Ці пептиди здатні позитивно впливати на різні системи організму людини. Зокрема, доведений їхній ефект на серцево-судинну, нервову, ендокринну, травну та імунну системи (Юкало, Дацишин & Юкало, 2013).

Основний білок сироватки молока, β -лактоглобулін, складає 50% сироваткового протеїну та бере участь у зв'язуванні таких мінералів, як цинк і кальцій, а також у транспортуванні жирних кислот та ретинолу, виконує антиоксидантну функцію. Встановлено, що β -лактоглобулін є попередником усіх видів біоактивних пептидів, окрім імуномодуляторних. α -лактальбумін є хорошим джерелом незамінної кислоти триптофану, що є попередником серотоніну (Mohanty et al., 2016; Guo & Wang, 2019). Також встановлено, що споживання α -лактальбуміну та його гідролізатів підвищує здатність організму в боротьбі зі стресом. Зважаючи на високий ступінь гомології до людського α -лактальбуміну, коров'ячий α -лактальбумін дуже добре підходить для виробництва дитячих сумішей. Сироватковий альбумін має здатність зв'язувати жирні кислоти й такі імуноглобуліни, як IgA, IgM, IgG1 та IgG2, що сприяє розвитку пасивного імунітету у споживачів (Deeth & Bansal, 2019; Shayanti & Sanjeev, 2020).

Важливим протеїном сироватки молока є лактоферин. Він впливає на засвоєння заліза, виконує захисні функції, зокрема проявляє імуномодуляторну дію, пригнічує розвиток патогенних мікроорганізмів, є джерелом багатьох біоактивних пептидів (Korhonen & Marnila, 2011; Brandelli, Daroit & Correa, 2015;

Fernandes & Carter, 2017; Shayanti & Sanjeev, 2020). Один із таких пептидів, лактоферин, проявляє більшу антибактерицидну активність, ніж сам лактоферин (Luna-Castro et al., 2017).

Враховуючи сказане, можна стверджувати, що протеоліз білків сироватки у фізіологічних умовах, дає змогу одночасно отримати суміш природних біоактивних пептидів і зменшити алергенність білків сироватки молока. Використання такого низькоалергенного гідролізату білків сироватки, який є джерелом біологічно активних пептидів, у поєднанні з основою із сиру кисломолочного, надає можливість отримати продукт, який можуть споживати люди із непереносимістю білків сироватки молока. У такому продукті будуть присутні казеїнові попередники БАП та природні БАП з протеїнів сироватки молока і відсутні основні алергени з сироватки молока.

Мета дослідження: розробка технології пасти сиркової з додаванням гідролізу білків сироватки, отриманих у фізіологічних умовах зі збереженням природних біологічно активних пептидів.

Матеріали і методи. Основу для пасти сиркової отримували з молока пастеризованого (ТМ «Молокія»). Для отримання гідролізату використовували концентрат сироваткових білків (КСБ) (ТОВ «Бучацький сирзавод» (Україна) згідно з проектом ТУ У 15.5-00419880-XXX:2011 «Концентрат сироваткових білків (КСБ-УФ). Технічні умови») та ферментний препарат панкреатин (ПрАТ «Технолог» (Україна)).

Масову частку білка визначали в готовому продукті відповідно до ГОСТ 26889; масову частку жиру — ДСТУ ISO 1211, ДСТУ ISO 488, ДСТУ ISO 11870, ДСТУ 4941; масову частку вологи — ДСТУ 8552:2015. Титровану кислотність визначали за ДСТУ 8550, вологоутримувальну здатність — за методикою (Пшенична, 2019). Органолептичну оцінку здійснювали згідно з ISO 22935-1:2009 (IDF 99-1:2009), ISO 22935-2:2009 (IDF 99-2:2009), ISO 22935-3:2009 (IDF 99-3:2009).

Для проведення електрофорезу в поліакриламідному гелі (ПАГ), використовували лужну систему (рН 7,9), що включала 4,5 М сечовину. Вміст низькомолекулярних пептидів у готовому продукті визначали гель-фільтрацією на колонках з набору для рідинної хроматографії фірми «Reanal» (Угорщина). При цьому був використаний сефадекс G-25.

Результати і обговорення. Сир кисломолочний для виготовлення пасти отримували за традиційною технологією з використанням кислотно-сичужної коагуляції. Нормалізоване за вмістом жиру молоко пастеризували при температурі $72 \pm 2^\circ\text{C}$ з витримкою 15—20 хвилин. Вибір таких режимів пастеризації сприяв тому, що сироваткові білки у процесі подальшої коагуляції відходять у сироватку. Таким чином можна отримати сир кисломолочний, що містить у своєму складі практично чистий казеїн. Відпресований білковий згусток змішували із сухим гідролізатом сироваткових білків коров'ячого молока, отриманим при фізіологічних значеннях рН та температури (7,9 та 37°C). Для отримання гідролізату проводили протеоліз 15% розчину КСБ панкреатином при співвідношенні ензим:субстрат — 1:20. Такі співвідношення використовуються при отриманні

гідролізатів сироваткових білків (Головач & Курченко, 2012; Шаркова, Жукотський, Авдєєва & Декуша, 2013). Саме в таких умовах є найбільша ймовірність утворення природних БАП (Madadlou & Abbaspourfad, 2016; Athira, Sharma, Kumar & Sarkar, 2019). Тривалість протеолізу — 120 хв. Отриманий гідролізат висушували з допомогою розпилювальної сушарки. Проведений експрес-електрофорез гідролізату показав відсутність у ньому фракцій протеїнів сироватки. На етапі змішування з гідролізатом сироваткових білків, з метою розширення асортименту, можливе додавання різноманітних харчо-смакових добавок (цукор, кориця, ванілін, какао порошок тощо) і стабілізаторів структури (пектин, агар, камеді тощо).

Гідролізат білків сироватки у продукт вносили, виходячи із середньої кількості у молоці білків сироватки, що становить 15—22% від усіх білків молока. Продукти з гідролізатами характеризуються альбумінним присмаком, що безпосередньо залежить від його кількості, тому основним критерієм для обґрунтування кількості внесення гідролізату білків сироватки у пасту слугував органолептичний аналіз. Для обґрунтування кількості гідролізату білків сироватки дослідження було проведено з п'ятьма зразками пасти сиркової. Гідролізат вносили в кількості від 1 до 5%.

Таблиця 1. Органолептичні показники пасти сиркової з різним вмістом гідролізату білків сироватки молока

Найменування показника	Характеристика				
	паста сиркова з ГБС				
	1%	2%	3%	4%	5%
Консистенція, колір	Однорідна, пластична; колір білий з кремовим відтінком, що залежить від кількості внесеного гідролізату				
Смак і запах	Характерний кисломолочний				
	альбумінний присмак майже не відчувається	незначний альбумінний присмак		відчутний альбумінний присмак	значний альбумінний присмак

Встановлено, що найкращими органолептичними показниками характеризувались дослідні зразки, що містили від 1 до 3% ГБС. Щодо зразків, які містили 4—5% ГБС, було відмічено, що така кількість ГБС сприяє появі альбумінного присмаку, що частково знижує органолептичні показники готового продукту. Водночас було зазначено, що на колір, запах і консистенцію додавання ГБС навіть у кількості 4—5% практично не впливає. В результаті проведеної органолептичної оцінки встановлено, що органолептичні показники всіх дослідних зразків є характерними для сиркових виробів на основі сиру кисломолочного. Особливістю отриманої пасти сиркової з ГБС є кремовий відтінок і незначний альбумінний присмак, що залежить від кількості внесеного гідролізату.

У процесі дослідження були також визначені фізико-хімічні показники пасти сиркової з різним вмістом ГБС. Дані табл. 2 показують незначне підвищення масової частки білка із збільшенням кількості внесеного гідролізату білків сироватки та підвищення титрованої кислотності зразків.

Таблиця 2. Фізико-хімічні показники пасти сиркової з ГБС ($M \pm m, n=3$)

Зразок	Вміст ГБС, %	Показники			
		Масова частка білка, %	Масова частка жиру, %	Масова частка вологи, %	Титрована кислотність, °Т
Контроль	—	15,19±0,05	9,0±0,01	70,6±1,5	140±1,78
Зразок 1	1	15,58±0,08	8,99±0,012	70,16±1,25	152±2,05
Зразок 2	2	15,97±0,09	8,98±0,0,11	69,72±1,12	164±1,9
Зразок 3	3	16,36±0,06	8,97±0,01	69,28±1,05	177±1,68
Зразок 4	4	16,75±0,07	8,96±0,013	68,84±1,59	188±1,96
Зразок 5	5	17,14±0,045	8,96±0,011	68,4±1,36	191±2,0

З огляду на вимоги ДСТУ 4503:2005 «Вироби сиркові», термін зберігання для досліджуваного продукту становив три доби. Протягом цього періоду часу у пасти сиркової з різним вмістом гідролізату було досліджено зміну вологоутримувальної здатності, титрованої та активної кислотності порівняно з контрольним зразком. Як контроль при проведенні досліджень використовували сир кисломолочний, виготовлений за тією ж технологією, що й основа для пасти сиркової.

Із результатів досліджень, наведених у табл. 3, можна зробити висновок, що додавання гідролізату білків сироватки практично не впливає на вологоутримувальну здатність пасти сиркової порівняно з контрольним зразком. У процесі зберігання відмічено, що із збільшенням кількості внесеного гідролізату відбувається пропорційне збільшення вологоутримувальної здатності у зразках. Внесення ГБС у найбільшій із запропонованих кількості, 5%, підвищує ВУЗ продукту до 67,23%. Під час зберігання спостерігалось підвищення вологоутримувальної здатності в усіх дослідних зразках. Проте у контрольному зразку відмічено зниження вологоутримувальної здатності у процесі зберігання.

Таблиця 3. Зміна вологоутримувальної здатності пасти сиркової з різним вмістом ГБС порівняно з контролем протягом рекомендованого терміну зберігання

Зразок	Вміст ГБС, %	Тривалість зберігання			
		День виготовлення	Через 24 год	Через 48 год	Через 72 год
Контроль	—	65,37±0,34	65,12±0,32	64,49±0,52	64,21±0,74
Зразок 1	1	65,44±0,45	65,5±0,38	65,53±0,31	65,57±0,25
Зразок 2	2	66,11±0,67	66,09±0,47	66,16±0,26	66,32±0,31
Зразок 3	3	66,49±0,32	66,58±0,21	66,99±0,53	67,38±0,34
Зразок 4	4	66,86±0,41	67,07±0,31	67,83±0,39	68,43±0,21
Зразок 5	5	67,23±0,28	67,56±0,23	68,67±0,25	69,29±0,28

Протягом рекомендованого терміну зберігання активна кислотність пасти сиркової з ГБС майже не змінюється (табл. 4). Що стосується титрованої кислотності, то порівняно з контролем, у пасти сиркової з різним вмістом ГБС її значення є в середньому на 23°Т вищим на початку терміну зберігання. До кінця терміну зберігання різниця зростає до середнього значення 53°Т. Значний приріст титрованої кислотності у готовому продукті можна пояснити досить високою титрованою кислотністю самого гідролізату білків сироватки молока. Із

результатів досліджень, наведених у табл. 5, видно, що навіть у зразку із найбільшим вмістом гідролізату (5%), показники титрованої кислотності в кінці рекомендованого терміну зберігання знаходяться у межах дозволених ДСТУ 4503:2005 «Вироби сиркові».

Таблиця 4. Зміна показників активної кислотності пасти сиркової з різним вмістом ГБС порівняно з контролем протягом рекомендованого терміну зберігання

Зразок	Вміст ГБС, %	Тривалість зберігання			
		День вигодовлення	Через 24 год	Через 48 год	Через 72 год
Контроль	—	4,28±0,025	4,25±0,058	4,24±0,01	4,23±0,078
Зразок 1	1	4,29±0,09	4,27±0,045	4,26±0,1	4,26±0,089
Зразок 2	2	4,3±0,01	4,29±0,089	4,29±0,069	4,29±0,088
Зразок 3	3	4,32±0,08	4,32±0,099	4,31±0,087	4,31±0,074
Зразок 4	4	4,33±0,1	4,33±0,05	4,32±0,059	4,32±0,057
Зразок 5	5	4,34±0,095	4,33±0,078	4,33±0,096	4,32±0,063

Для проведення хроматографічних та електрофоретичних досліджень було використано дослідний зразок із вмістом гідролізату білків сироватки 3%. Результати електрофоретичного аналізу, представлені на рис. 1, дають підставу стверджувати, що в запропонованому продукті «Паста сиркова з гідролізатом білків сироватки» відсутні білки сироватки, що в більшості випадків спричиняють алергію у споживачів різних вікових груп.

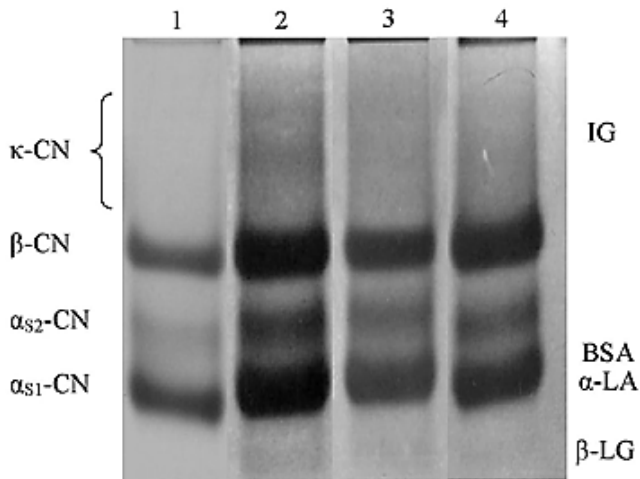


Рис. 1. Електрофореграма загального казеїну (1); згустку до відділення сироватки (2); згустку без сироватки (3); готового продукту з ГБС (4), отримана у лужній системі (рН 7,9), що включала 4,5 М сечовину

Окрім електрофоретичних досліджень, була проведена гель-фільтрація на сефадексі G-25 контрольного та дослідного зразка, що містить 3% гідролізату. Результати хроматографічного аналізу показали збільшення фракції низькомолекулярних пептидів у дослідному зразку порівняно з контрольним.

Враховуючи склад, результати органолептичного та фізико-хімічного аналізу, електрофоретичних і хроматографічних досліджень запропонований продукт «Паста сиркова з гідролізатом білків сироватки» може бути рекомендованим для харчування осіб з алергією на білки сироватки молока.

Висновки

1. Запропоновано технологію пасти сирової з гідролізатом білків сироватки молока, отриманим у фізіологічних умовах, які забезпечують утворення серед продуктів протеолізу максимальної кількості природних біологічно активних пептидів.

2. У досліджуваних зразках «Пасти сирової з гідролізатом білків сироватки» було охарактеризовано органолептичні, фізико-хімічні показники і встановлено, що вони відповідають нормативним документам для такого типу продуктів. Показано, що внесення ГБС надає легкого присмаку альбуміну та кремового відтінку, що залежать від кількості внесеного гідролізату. Доведено, що внесення гідролізату в кількості 2—3% практично не змінює органолептичні показники готового продукту. При додаванні гідролізату в більшій кількості (4—5%), рекомендовано додатково вносити смако-ароматичні добавки для забезпечення споживчих властивостей продукту.

Також дослідні зразки запропонованого продукту охарактеризовано з допомогою електрофоретичних та хроматографічних методів, що підтверджують відсутність у них білків алергенів сироватки молока та збільшення вмісту фракції низькомолекулярних пептидів, які включають БАП.

Література

- Головач, Т. Н., Курченко, В. П. (2012). Гидролиз белков молока ферментными препаратами и протеолитическими системами молочнокислых бактерий. *Труды БГУ 2012*, 7(1), 106—126.
- Кручаниця, М. І., Миронюк, І. С., Розумикова, Н. В., Кручаниця, В. В., Брич, В. В., Кіш, В. П. (2019). *Основи харчування: підручник*. Ужгород: Вид-во УжНУ «Говерла».
- Пшенична, Т. В. (2019). (дисертація кандидата технічних наук). *Розроблення технології комплексного перероблення молока на концентрати білково-ягідні*. НУХТ, Київ.
- Шаркова, Н. О., Жукотський, Е. К., Авдєєва, Л. Ю., Декуша, Г. В. (2013). Білкові гідролізати для дітей раннього віку. *Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій*, 44(2), 250—252.
- Юкало, А. В., Сторож, Л. А., Юкало, В. Г. (2012). Протеїни казеїнового комплексу молока корів (*Bos taurus*), як попередники біологічно активних пептидів. *Biotechnology Acta*, 5(4), 21—33.
- Юкало, А. В., Дацишин, К. Є., Юкало, В. Г. (2013). Біоактивні пептиди протеїнів сироватки молока корів (*Bos taurus*). *Biotechnology Acta*, 6(5), 49—61. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(04)73319-6.
- Brandelli, A., Daroit, D. J., & Correa, A. P. F. (2015). Whey as a source of peptides with remarkable biological activities. *Food Research International*, 73, 149—161. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.01.016>.
- Bu, G., Luo, Y., Chen, F., Liu, K., & Zhu, T. (2013). Milk processing as a tool to reduce cow's milk allergenicity: a mini-review. *Dairy Science & Technology*, 93(3), 211—223. doi: 10.1007/s13594-013-0113-x.
- Deeth, H., & Bansal, N. (Eds). (2019). *Whey Proteins From Milk to Medicine*. London: Academic Press.

Fernandes, K. E., & Carter, D. E. (2017). The Antifungal Activity of Lactoferrin and Its Derived Peptides: Mechanisms of Action and Synergy with Drugs against Fungal Pathogens. *Frontiers in Microbiology*, 8, 1—10. doi: 10.3389/fmicb.2017.00002.

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

Korhonen, H., & Marnila, P. (2011). Lactoferrin. In (2nd ed). W. Fuquay, P. F. Fox, & P. L. H. McSweeney (Eds.), *Encyclopedia of dairy sciences* (Volume 3). San Diego, CA: Academic Press.

Luna-Castro, S., Samaniego-Barrón, L., Serrano-Rubio, L. S., Ceballos-Olvera, I., Avalos-Gómez, Ch., & de la Garza, M. (2017). Lactoferrin: A Powerful Antimicrobial Protein Present in Milk. *Advances in Dairy Research*, 5(4). doi: 10.4172/2329-888X.1000195.

Madadlou, A., & Abbaspourrad, A. (2016). Bioactive whey peptide particles: An emerging class of nutraceutical carriers. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 58(9), 1468—1477. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1264064>.

Mann, B., Athira, S., Sharma, R., Kumar, R., & Sarkar, P. (2019). Bioactive Peptides from Whey Proteins. In: Hilton C. Deeth & Nidhi Bansal (Eds.), *Whey Proteins: From milk to medicine* (519—547). London: Academic Press.

Minj, S., & Anand, S. (2020). Whey Proteins and Its Derivatives: Bioactivity, Functionality, and Current Applications. *Dairy*. 1(3), 233—258. <https://doi.org/10.3390/dairy1030016>.

Mohanty, D., Jena, R., Choudhury, P. K., Pattnaik R., Mohapatra, S., & Saini, M. R. (2016). Milk Derived Antimicrobial Bioactive Peptides: A Review. *International Journal of Food Properties*, 19, 837—846.

Villa, C., Costa, J., Oliveira, M. B. P. P., & Mafra, I. (2018). Bovine Milk Allergens: A Comprehensive Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(1), 137—164. doi: 10.1111/1541-4337.12318.

RESEARCH OF BIOLOGICAL AND NUTRITIONAL VALUE OF PUMPKIN SEED FLOUR FOR USE IN TECHNOLOGY OF TURKEY MEAT HAM

O. Galenko, V. Kravchuk, M. Medianyuk

National University of Food Technologies

O. Gorbach

Bila Tserkva National Agrarian University

Key words:

Pumpkin seed flour

Food product

Amino acid composition

Fatty acid composition

Article history:

Received 29.09.2021

Received in revised form

13.10.2021

Accepted 27.10.2021

Corresponding author:

O. Galenko

E-mail:

npnuht@ukr.net

ABSTRACT

The results of research of foreign and domestic scientists prove the prospects for the use vegetable fiber processing in the technology of combined meat products. This helps to expand the range of meat products, distribute all ingredients, minimize losses during production and provides a fairly high biological and nutritional value of the product. Ultimately, such changes lead to the production of products of constant quality.

Today, soy protein products are used in the production of meat products, which in the production of restructured meat products are replaced by protein preparations obtained during the processing of pumpkins, in particular pumpkin seed flour. It is necessary to take into account the functional and technological parameters of flour and minced meat systems with its use, its biological and nutritional value.

The chemical composition as well as the nutritional value of pumpkin seeds depends on various factors, including size, weight and chemical composition of seeds.

Analysis of the fractional protein composition of pumpkin seed flour allowed to conclude that these proteins contain a high mass fraction of water- and salt-soluble fractions, which is close to the corresponding index of muscle tissue of slaughter animals. The presence of albumins and globulins in pumpkin seed flour is 75.5% of the total protein. This characterizes it as a highly functional component which, together with muscle proteins, forms a stable protein matrix of meat systems.

Analysis of the amino acid composition of the proteins of pumpkin seed flour made it possible to determine that their protein fractions contain a complete set of amino acids, including essential ones.

According to the results of the study of the fatty acid composition of pumpkin seed flour, the high biological activity of lipids of the experimental samples was confirmed.

ДОСЛІДЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОЇ ТА ХАРЧОВОЇ ЦІННОСТІ БОРОШНА З НАСІННЯ ГАРБУЗА ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ В ТЕХНОЛОГІЇ ШИНОК ІЗ М'ЯСА ІНДИЧКИ

О. О. Галенко, В. В. Кравчук, М. О. Медяник

Національний університет харчових технологій

О. Я. Горбач

Білоцерківський національний аграрний університет

Результати досліджень зарубіжних і вітчизняних вчених доводять перспективність використання в технології комбінованих м'ясопродуктів продукції переробки рослинних волокон. Це сприяє розширенню асортименту м'ясних продуктів, стійкому і рівномірному розподілу всіх інгредієнтів, мінімізації втрат протягом виробництва та забезпечує досить високу біологічну та харчову цінність продукту. В остаточному підсумку саме такі зміни гарантують виробництво продукту стабільної якості.

На сьогодні при виробництві м'ясних продуктів використовують соєві білкові продукти, які при виготовленні реструктурованих м'ясних виробів заміняють білковими препаратами, отриманими під час переробки гарбузів, зокрема борошном гарбузового насіння. При цьому необхідно враховувати функціонально-технологічні показники борошна і фаршевих систем з його використанням, біологічну та харчову цінність.

Хімічний склад, а також харчова цінність насіння гарбуза залежить від різноманітних факторів, зокрема від розміру, маси та хімічного складу насіння.

Аналіз фракційного складу білків борошна з насіння гарбузів дав змогу зробити висновок про те, що ці білки містять високу масову частку водо- та солерозчинних фракцій, а це є близьким до відповідного показника м'язової тканини забійних тварин. Наявність альбумінів і глобулінів у борошні з насіння гарбуза складає 75,5% від усієї кількості білка. Це характеризує його як високофункціональний компонент, що разом із м'язовими білками утворює стабільну білкову матрицю м'ясних систем.

Аналіз амінокислотного складу білків борошна гарбузового насіння дав змогу визначити, що їх білкові фракції містять повний набір амінокислот, зокрема незамінних. За результатами дослідження жирнокислотного складу борошна з насіння гарбуза підтверджено високу біологічну активність ліпідів дослідних зразків.

Ключові слова: борошно з насіння гарбуза, харчовий продукт, амінокислотний склад, жирнокислотний склад.

Постановка проблеми. Повноцінність щоденного харчування визначає стан здоров'я усього населення, впливаючи при цьому на ріст і фізичний розвиток, працездатність та адаптаційні можливості, а також захворюваність і тривалість життя. Водночас відоме значення м'ясопродуктів у забезпеченні потреби населення в харчових речовинах та енергії.

М'ясо є продуктом харчування першої необхідності, який не має аналогів, що здатні повноцінно його замінити. Саме тому м'ясопереробний комплекс — одна із найважливіших складових агропромислового комплексу України. Це визначається сільськогосподарським потенціалом України, цінністю м'ясопродуктів, що дає змогу повною мірою забезпечувати потреби населення країни та збільшувати наявний експортний потенціал м'ясопереробної галузі.

Однак ринок м'яса і м'ясопродуктів залежний від наявної сировинної бази м'ясопереробного комплексу, тому напрямок розвитку технології виготовлення м'ясопродуктів потребує розширення сировинної бази, зокрема шляхом використання рослинної сировини.

Аналіз наукових досліджень і публікацій. Ринок індичатини в Україні входить до структури загального вітчизняного ринку м'ясопродуктів, що є стратегічним і найбільш значимим з точки зору продовольчого забезпечення держави і функціонування всієї харчової промисловості (Peshuk & Galenko, 2011). На сьогодні ринок м'ясної продукції характеризується низькою насиченістю ринку саме індичого м'яса. Однак інтерес до індичого м'яса зростає як на міжнародному, так і на внутрішньому ринках. Наприклад, у Євросоюзі завдяки високим споживчим властивостям індичатини (вона там розглядається як дієтичний заміник для яловичини та є сировиною з виготовлення понад 150 видів ковбас), попит є дуже високим. В Ізраїлі ж одна людина щорічно вживає понад 12 кг індичатини, в США — понад 8 кг, а в Польщі — понад 6 кг. Кожен же українець за підсумками 2020 р. споживав 23,7 кг м'яса птиці, з них на індичку припадає лише 800 грамів. Пов'язано це передусім з культурою споживання населення, ціною політикою м'ясної продукції, а також низькою купівельною спроможністю населення (Serdaroglu, İpek, Kavuşan & Kerimoğlu, 2017).

Літературний огляд підтвердив, що найвагомішою у структурі є частка споживання м'яса птиці — 46%. У загальній структурі споживання м'яса індичатина займає лише 3%. Основна частина індичого поголів'я в Україні розміщувалась в індивідуальних домогосподарствах. Варто зазначити, що ринок індичатини в Україні демонструє стабільну інвестиційну привабливість: щороку він зростає на 10%, а рентабельність цього бізнесу становить 20—25% (Galenko, Nasyuk, Kravchuk & Medianuk, 2021).

Баштанні, на відміну від інших сільськогосподарських культур, мають універсальне застосування. Так, гарбузи переробляються на консервних підприємствах, застосовуються в медицині та фармакології, із них виготовляють пюреподібні консерви для дитячого харчування й загального призначення, виробляють напівфабрикати (уварене пюре), використовують для виробництва соку, гарбузових напоїв купажованих з абрикосовими чи яблучним соками тощо. Побічним же продуктом при виготовленні перерахованої вище продукції є саме насіння гарбуза, яке, зазвичай, використовується на корм худобі (Serdaroglu, Kavuşan, İpek & Öztürk, 2018). Однак саме насіння гарбуза володіє унікальним хімічним складом і фармакологічними властивостями (Choi та ін., 2012).

В Україні і за кордоном постійно ведуться розробки м'ясопродуктів з використанням борошна з насіння гарбуза (Kim та ін., 2016). У Національному університеті біоресурсів і природокористування України (Динько & Штонда, 2012)

досліджено властивості борошна з насіння гарбуза в технології варених ковбас. Результати цих досліджень свідчать про те, що до складу гарбузового голонасінного борошна входять такі основні нутрієнти: білки (43,2%), жири (17,3%), а також вуглеводи (20,9%), включаючи моносахариди (0,63%), сахарозу (1,84%), крохмаль (4,21%), клітковину (14,28%). Ці результати досліджень доводять, що гарбузове голонасінне борошно через зволоження при температурі 20°C поглинає й утримує майже у 2 рази більше вологи за свою масу.

Використання розробленого гарбузового голонасінного борошна завдяки високому вмісту білків, клітковини, мінеральних речовин, а також вітамінів (рибофлавіну, пантотенової кислоти, піридоксину, токоферолів, каротиноїдів) та незначної кількості крохмалю дає змогу значно збільшити поживну цінність варених ковбасних виробів (Zargar, Kumar, Bhat & Kumar, 2014).

Авторами патенту була розроблена ковбаса сирокочена «Північне сяйво», що складається зі свинини, солі, нітриту натрію, перцю чорного меленого та відрізняється від аналогу тим, що додатково була використана оленина, мед, насіння гарбуза. Співвідношення компонентів: оленина 47—51%, свинина напівжирна — 42—46%, мед — 2—3%, насіння гарбуза — 2—3%, сіль — 3,4—3,6%, нітрит натрію (в розчині) 0,0099—0,01%, перець чорний мелений — 0,09—0,11%. Технічний результат розробки полягає в тому, що отримано збалансований за амінокислотним складом продукт з підвищеною біологічною цінністю і запланованими цільовими органолептичними характеристиками.

Авторами патенту (122109 «Шніцель з січеної натуральної маси з насінням гарбуза») був розроблений шніцель з посіченого м'яса з насінням гарбуза, який містить свинину, жир-сирець, воду, яйця, сухарі. Продукт відрізняється додатковим внесенням подрібненого насіння гарбуза. Співвідношення інгредієнтів: свинина — 57—61%, сухарі — 10—11%, насіння гарбуза — 11—14%, жир-сирець — 8—9%, яйця — 4—5%, решта вода.

Технічний результат цієї розробки — створення шніцеля з натуральної посіченої маси з використанням насіння гарбуза у кількості від 11 до 14%, що надає можливість виготовляти готовий продукт оздоровчо-профілактичного призначення з підвищеною харчовою цінністю та покращеною структурою (Sharma, Sharma, Chand, Khardiya & Yadav, 2013).

Олія, отримана з насіння гарбуза, здавна відома в медицині (Teugwa, Boudjeko & Tchinda, 2013). Вона має антисептичні, протизапальні та регенеративні властивості, а також сприяє відновленню функцій печінки, передміхурової залози, слизової оболонки шлунково-кишкового тракту та виводить холестерин (Шеманская & Осейко, 2012).

Мета дослідження: визначення хімічного та фракційного складу борошна з насіння гарбуза для подальшого дослідження його впливу на фізико-хімічні показники шинок із м'яса індички.

Матеріали і методи. Дослідження фракційного складу білків проводили методом електрофорезу в акредитованій лабораторії. Електрофорез — це рух заряджених частинок під впливом електричного поля. Оскільки різні частинки можуть мати різні величини заряду, а також відчувати при рухові неоднаковий опір середовища, швидкість переміщення їх може бути різною. На цьому й ґрунтується

застосування електрофорезу як методу для розділення речовин. Згідно з методикою, для проведення досліджень готували гель, який складається з кількох окремих розчинів, барвник та зразки.

Визначення амінокислотного складу здійснювали із застосуванням іонно-обмінної хроматографії на аналізаторі Т339ААА (Чехія).

Кількість амінокислот одержували у міліграмах при множенні кількості мікромолей амінокислоти на відповідну їй молекулярну масу. Визначення якісного складу суміші амінокислот проводили, порівнюючи хроматограми стандартної та досліджуваної суміші амінокислот.

Розрахунок амінокислотного СКОР проводили згідно з довідковою шкалою FAO/WHO. Жирнокислотний склад жирової фази отриманого борошна досліджували методом газорідинної хроматографії. Такий підхід забезпечив можливість вивчення взаємозв'язку об'єкта дослідження та всіх показників.

Об'єктом дослідження було борошно з насіння гарбуза, яке в подальшому заплановано використовувати в технології виготовлення шинок із м'ясом індички.

Результати і обговорення. Виготовлене в лабораторних умовах борошно з насіння гарбуза — це порошок очищеного насіння гарбуза, сіро-зеленого кольору, практично без запаху, однак при вживанні значної кількості зафіксований залишковий гіркий присмак. Для одержання борошна насіння гарбуза спочатку промивали, потім сушили при кімнатній температурі (20...25°C) до досягнення рівня вологості 4...6%, далі очищали від шкірки та перемелювали на диспергаторі до досягнення розміру часток 0,1—0,5 мм.

Літературний огляд підтвердив, що найбільш привабливими для використання у виробництві м'ясопродуктів може бути насіння гарбуза голонасінного, оскільки воно не має оболонки, що являє собою дерев'янисту, дуже щільну за консистенцією тканину, яка складається, переважно, з вуглеводів водонерозчинних, зокрема целюлози й геміцелюлоз (Краєвська & Стеценко, 2013).

Результати проведеного дослідження хімічного складу борошна з насіння гарбуза голонасінного наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Хімічний склад борошна із голонасінного насіння гарбуза

Найменування показників	Борошно з насіння гарбуза
Вміст, %	
білка	34,2±0,1
жиру	32,2±0,1
вологи	6,91±0,2
золи	4,72±0,02
Вуглеводи*, %, у тому числі	21,4±0,1
целюлоза, %	4,2±0,02
розчинні цукри, %	17,2±0,02
Енергетична цінність 100 г продукту, ккал	495,7

Встановлено, що борошно з насіння гарбуза — дуже багате джерело повноцінного рослинного білка (його вміст у продукті — до 35,2%).

Масова частка білків у насінні гарбуза не поступається традиційно використовуваним рослинним білковим добавкам і, що найголовніше, м'ясу забійних

тварин, що використовується у виготовленні комбінованих м'ясних продуктів. Встановлено, що співвідношення білок:жир у досліджуваних зразках борошна із насіння гарбуза становить 1,1:1, а це, у свою чергу, відповідає затвердженним медико-біологічним вимогам щодо оптимального співвідношення білка та жиру в продуктах. Тобто насіння гарбуза можна використовувати в рецептурних композиціях комбінованих м'ясопродуктів без завдання шкоди їхньому хімічному складу та харчовій цінності.

Одним із найважливіших критеріїв, які визначають доцільність використання нових видів сировини у виготовленні м'ясопродуктів, є здатність до сполучення із білками м'яса, тому важливим було проведення дослідження з фракційного розділення білків насіння гарбуза та їх кількісного аналізу. Фракційний склад білків насіння гарбуза наведений у табл. 2.

Таблиця 2. Фракційний склад білків насіння гарбуза

Найменування сировини	Масова частка фракцій білків, %			
	Альбуміни	Глобуліни	Глютеліни	Нерозчинні білки
Борошно з насіння гарбуза	27,2	48,3	19,9	4,6

Аналіз фракційного складу білків підтвердив, що білки насіння гарбуза містять у складі значну (близьку до такого ж показника м'язової тканини у забійних тварин) масову частку водо- та солерозчинних фракцій. Наявність альбумінів і глобулінів у борошні з насіння гарбуза складає 75,5% від загального вмісту білка, а це характеризує його як дуже високофункціональний компонент, що разом із білками м'яса утворює стабільну білкову матрицю м'ясної системи. Варто зазначити, що найбільшою фракцією у білках борошна з насіння гарбуза є солерозчинні білки з вмістом 48,3%. Наведені дані фракційного складу білків насіння гарбуза доводять перспективність його використання у харчових цілях як компонента рецептури м'ясних продуктів.

Важливо відмітити, що технологічні характеристики м'ясної системи залежать не лише від масової частки та фракційного складу білків сировини, але й від їх якісного складу в самому білку. У зв'язку з цим треба було вивчити амінокислотний склад білків борошна гарбузового насіння (табл. 3).

Таблиця 3. Амінокислотний склад білків борошна гарбузового насіння, знежиреного соєвого борошна та індичого м'яса

Найменування Амінокислот	Вміст, г на 100 г білка			
	Еталон ФАО/ВООЗ	Борошно з насіння гарбуза	Знежирене соєве борошно	М'ясо індички I кат.
1	2	3	4	5
Незамінні амінокислоти				
Валін	5,0	4,86	4,8	4,71
Ізолейцин	4,0	3,65	4,4	4,76
Лейцин	7,0	7,86	7,7	8,42
Лізин	5,5	5,93	6,3	8,94
Метіонін+цистин	3,5	2,67	2,9	2,92
Треонін	4,0	7,45	4,0	4,49
Фенілаланін+тирозин	6,0	6,67	1,4	7,28

Продовження таблиці 3

1	2	3	4	5
Триптофан	1,0	0,79	8,6	1,69
Сума НАК	36,0	41,88	40,1	43,21
Замінні амінокислоти				
Аланін	—	10,86	—	6,25
Аргінін	—	8,53	—	5,99
Аспарагінова кислота	—	5,71	—	10,30
Гістидин	—	1,51	—	2,77
Гліцин	—	7,82	—	5,83
Глутамінова кислота	—	13,63	—	16,82
Пролін	—	4,21	—	4,26
Серин	—	4,04	—	3,77

Аналіз результатів дослідження амінокислотного складу білків борошна гарбузового насіння доводить, що білкові фракції включають повний набір амінокислот, в тому числі незамінні, а це свідчить про високу біологічну цінність. Встановлено, що вміст окремих незамінних амінокислот (зокрема лейцину і лізину) дорівнює значенню затвердженого еталона ФАО/ВООЗ, а показники фенілаланіну і треоніну навіть перевищують його.

Також у дослідному зразку був виявлений високий вміст глутамінової амінокислоти, яка є хімічною попередницею утворення традиційного м'ясного смаку. Коефіцієнт відхилення амінокислотного скору (називається показник КРАС, %), який характеризує надлишкову кількість усіх незамінних амінокислот, становить 31,4%.

Таблиця 4. Показники біологічної цінності білкового компонента насіння гарбуза

Найменування показника	Борошно з насіння гарбуза
Амінокислотний скор, %	
Валін	97,2
Ізолейцин	91,3
Лейцин	112,3
Лізін	107,8
Метіонін+цистин	76,3
Треонін	186,3
Фенілаланін+тирозин	111,2
Триптофан	79,00
КРАС, %	31,4
БЦ, %	68,6
U, од	0,66
σ_c , мг	35,48

З результатів розрахунків встановлено, що більш ніж 60% амінокислот насіння гарбуза можуть утилізуватися організмом, а їхній коефіцієнт унітарності становить 0,66.

Відповідно до показника порівнянної надмірності (σ_c) порівнюють загальну кількість вмісту незамінних амінокислот білків і білків, які не можуть утилізуватися організмом людини (через незбалансованість відносно еталону). З даних табл. 4 встановлено, що в дослідному зразку порівнянна надмірність становить

35,48 мг. Встановлено, що білки насіння гарбуза характеризуються високою біологічною цінністю — 70,5%.

З метою покращення амінокислотного складу розроблених варено-копчених шинок у подальшому заплановано регулювання їх рецептурного складу з урахуванням лімітуючих амінокислот борошна з насіння гарбуза.

При детальному дослідженні хімічного складу борошна насіння гарбуза встановлено, що вміст ліпідів коливається — близько 31,8%, що підтверджує дуже високу енергетичну і біологічну цінність борошна з насіння гарбузів (табл. 1).

При дослідженні біологічної і харчової цінності сировини важливим є не лише визначення масової частки ліпідів, а й аналіз їхнього жирнокислотного складу, особливо ідентифікація поліненасичених жирних кислот (табл. 5).

Таблиця 5. Жирнокислотний склад ліпідів насіння гарбуза

Найменування жирних кислот	Масова частка жирних кислот, % до загальної суми
Насичені (НЖК), в тому числі:	17,81
пальмітинова C _{16:0} (гексадеканова)	11,31
стеаринова C _{18:0} (октадеканова)	6,06
арахінова C _{20:0} (ейкозанова)	0,44
Мононенасичені (МНЖК), в тому числі:	41,46
олеїнова C _{18:1} (октадеценнова)	41,46
Поліненасичені (ПНЖК), в тому числі	40,73
лінолева C _{18:2} (октадекадиєнова)	40,49
ліноленова C _{18:3} (октадекатриєнова)	0,24

З табл. 5 видно, що жирнокислотний склад ліпідів у дослідних зразках насіння гарбуза був представлений чотирма кислотами — пальмітиновою, стеариною, олеїною і лінолевою. При цьому арахінова та ліноленова кислоти виявлені в дуже незначних кількостях. У дослідному зразку був також виявлений значний вміст лінолевої кислоти, масова частка якої становила більше 40%.

Отримані результати підтвердили високу біологічну активність ліпідів дослідних зразків. Фізіологічно обґрунтованим складом жирової фракції є співвідношення насичених (НЖК), а також мононенасичених (МНЖК) і поліненасичених (ПНЖК) жирних кислот, яке дорівнює 3:6:1. Співвідношення ліпідів насіння гарбуза 2:4:4. Як видно із проведених розрахунків, співвідношення для жирних кислот у ліпідах насіння гарбуза не відповідає затвердженим фізіологічним вимогам, але, регулюючи кількість компонентів у модельних рецептурах шинок, існує можливість оптимізувати це співвідношення з огляду на факт, що в м'ясній сировині склад поліненасичених жирних кислот знаходиться на значно низькому рівні.

Висновки

Встановлено, що фракційний склад білків близький до м'язової тканини забійних тварин. Визначено, що вміст альбумінів і глобулінів у борошні з насіння гарбуза становить 75,5% від загальної кількості білка, тому його можна використовувати як високофункціональний компонент рецептури.

На основі проведеного дослідження амінокислотного складу білків борошна гарбузового насіння доведено їхню високу біологічну цінність, адже їх білкові фракції включають повний набір амінокислот, в тому числі незамінні.

Проведені дослідження вказують на актуальність і перспективність обраної сировини, зокрема борошна з насіння гарбуза, для поєднання з м'ясом індички в копчено-варених шинках. У подальшому заплановані дослідження функціонально-технологічних властивостей борошна з насіння гарбуза та поєднання його з м'ясом індички.

Література

Динько, О. П., Штонда, О. А. (2012). Дослідження властивостей борошна з насіння гарбуза для варених ковбасних виробів. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. Гжицького*, 14(2/3), 214—217.

Краєвська, С. П., Стеценко, Н. О. (2013). *Аналіз хімічного складу насіння гарбуза, кунжуту та льону як перспективних джерел для виробництва біологічно активних добавок до їжі*. Стратегія якості в промисловості і освіті : IX Міжнарод. конф. Варна.

Шеманская, Е. И., Осейко, Н. И. (2012). Фосфолипидные жировые продукты функционального назначения. *Харчова наука і технологія*, 1(18), 28—31.

Choi, Y. S., Kim, H. W., Hwang, K. E., Song, D. H., Park, J. H., Lee, S. Y., Choi, M. S., Kim, C. J. (2012). Effects of pumpkin (*Cucurbita maxima* Duch.) fiber on physicochemical properties and sensory characteristics of chicken frankfurters. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 32, 174—183.

Galenko, O., Hasyuk, V., Kravchuk, M., Medianuk, O. (2021). Study of combination of pumpkin seed flour and turkey meat in hams. *Ukrainian Journal of Food Science*, 2, 48—60.

Kim, C. J., Kim, H. W., Hwang, K. E., Song, D. H., Ham, Y. K., Choi, J. H., Kim, Y. B., Choi, Y. S. (2016). Effects of dietary fiber extracted from pumpkin (*Cucurbita maxima* Duch.) on the physico-chemical and sensory characteristics of reduced-fat frankfurters. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 36, 309—318.

Peshuk, L., Galenko, O. (2011). Gerodietic meat products technology enriched with calcium and phosphorus. *Food and Environment Safety*, 10(4), 18—23.

Serdaroglu, M., İpek, G., Kavuşan, S., Kerimoğlu, B. Öz. (2017). *Effects of dried pumpkin pulp and seed on quality of beef meatballs*. Conference: 63rd International Congress of Meat Science and Technology, İrlanda.

Serdaroğlu, M., Kavuşan, H. S., İpek, G., Öztürk, B. (2018). Evaluation of the Quality of Beef Patties Formulated with Dried Pumpkin Pulp and Seed. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 38(1), 1—13.

Sharma, A., Sharma, K., Chand, T., Khardiya, M., Yadav, K. (2013). Preliminary phytochemical evaluation of seed extracts of *Cucurbita maxima* Duchesne. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 2(3), 62—65.

Teugwa, C. M., Boudjeko, T., Tchinda, B. T. (2013). Anti-hyperglycaemic globulins from selected Cucurbitaceae seeds used as antidiabetic medicinal plants in Africa. *BMC Complementary Medicine and Therapies*, 13, 63—69.

Zargar, F. A., Kumar, S., Bhat, Z. F., Kumar, P. (2014). Effect of pumpkin on the quality characteristics and storage quality of aerobically packaged chicken sausages. *Springer Plus*, 3(39), 1—10.

RESEARCH OF CHANGES OF DRY MILK AND FLOUR PORRIDGES FOR BABY NUTRITION IN THE PROCESS OF THEIR STORAGE

K. Belinska

Kamianets Podilskyi National Ivan Ohiienko University

N. Falendysh

National University of Food Technologies

Key words:

Milk and flour porridges

Baby food

Acid value

Peroxide value

Microbiological indicators

Article history:

Received 22.09.2021

Received in revised form
1.10.2021

Accepted 13.10.2021

Corresponding author:

K. Belinska

E-mail:

kristina0612@ukr.net

ABSTRACT

Milk and flour porridges are used as food for infants and young children. There is a variety of such products. The main raw material for such porridges is cow's milk.

Dry milk and flour porridges are products of long storage. Such products are multicomponent systems, so during their storage there is a large number of changes, both physicochemical and microbiological. Since these products are intended for breastfeeding, the most important indicators of quality are indicators of their safety.

Microbiological contamination and fat spoilage processes may occur during the shelf life of dry milk flour. Fat spoilage is associated with both chemical and biochemical fat oxidation.

Leading manufacturers of dry products for baby food have a warranty period of 12 months. However, the studied products are made on the basis of mare's and sheep's milk. Such milk has different chemical composition, and therefore the processes which take place in it during storage may also differ from those observed during storage of cow's milk. Therefore, it is considered appropriate to conduct research to determine the indicators which affect the quality of the product during storage.

The article presents a study to determine microbiological parameters, the values of acid and peroxide indicators. According to the results of the study, it was found that in the studied products the development of exterior microflora during the shelf life is within normal limits. And the processes of oxidation of triglycerides and accumulation of peroxides occur similarly to similar processes in the control sample. A small difference in the samples is characterized by differences in the chemical composition of the fat of different types of milk. It was found that dry milk-flour porridges based on mare's and sheep's milk can be stored for a certain period of time, provided that they are stored in airtight packaging.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІН СУХИХ МОЛОЧНО-БОРОШНЯНИХ КАШ ДЛЯ ДИТЯЧОГО ХАРЧУВАННЯ В ПРОЦЕСІ ЇХ ЗБЕРІГАННЯ

К. О. Белінська

Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка

Н. О. Фалендиш

Національний університет харчових технологій

Для харчування дітей грудного та раннього віку прикормом служать молочно-борошняні каші. На ринку пропонується різноманіття таких продуктів. Основною сировиною для виготовлення таких каш є коров'яче молоко.

Сухі молочно-борошняні каші є продуктами тривалого зберігання. Такі продукти є багатокомпонентними системами, тому при їх зберіганні відбувається велика кількість змін (як фізико-хімічних, так і мікробіологічних). Оскільки ці продукти призначені для вигодовування дітей, найголовнішими показниками якості є показники їх безпечності.

Упродовж терміну зберігання сухих молочно-борошняних каш можуть мати місце процеси мікробіологічного зараження та процеси псування жиру. Процеси псування жиру пов'язані як із хімічним окисненням жиру, так і з біохімічним.

Провідними виробниками сухих продуктів для дитячого харчування гарантійний термін зберігання встановлено 12 місяців. Проте досліджувані продукти виготовлені на основі кобилячого та овечого молока. Таке молоко має інший хімічний склад, а тому процеси, що відбуваються в ньому під час зберігання, також можуть відрізнятися від тих, що спостерігаються при зберіганні коров'ячого молока. Тому проведення досліджень з визначення показників, які впливають на якість продукту при зберіганні, є доцільним.

У статті представлено дослідження з визначення мікробіологічних показників, значення кислотного та перекисного чисел. Встановлено, що в досліджуваних продуктах розвиток сторонньої мікрофлори впродовж терміну зберігання відбувається в межах норми. А процеси окиснення тригліцеридів і накопичення перекисів відбуваються подібно до аналогічних процесів у контролі. Невелика різниця у зразках характеризується відмінностями хімічного складу жиру різних видів молока. З'ясовано, що сухі молочно-борошняні каші на основі кобилячого та овечого молока можуть зберігатися протягом визначеного терміну за умови зберігання в герметичній упаковці.

Ключові слова: *молочно-борошняні каші, дитяче харчування, кислотне число, перекисне число, мікробіологічні показники.*

Постановка проблеми. *Сухі молочно-борошняні каші для дитячого харчування є багатокомпонентними системами, тому при їх зберіганні відбуваються фізичні, хімічні та мікробіологічні зміни. Безумовно, головним критерієм оцінки якості сухих молочно-борошняних каш є органолептичні показники, зміну яких обумовлено складними фізичними, хімічними, біохімічними, мікробіологічними*

процесами, що відбуваються при зберіганні. Основними домінуючими процесами, які визначають гарантійний термін зберігання, є зміна мікробіологічних показників, зміни перекисного та кислотного чисел.

До складу молочно-борошняних каш включено сухе молоко та борошно, які містять значну частку жиру, що може гіркнути в процесі зберігання та впливати на якість продукту. Стан ліпідного комплексу залежить від здатності жирів окислятися. Жири окислюються до різного ступеня. Якщо глибина окислювання невелика, то змінюються органолептичні показники (смак, запах) — це харчове псування жиру. При глибокому окислюванні змінюються фізичні і хімічні властивості жирів.

Згіркнення жирів супроводжується процесами руйнування компонентів харчових продуктів, які легко окислюються. Це вітаміни, особливо А і Е, деякі ароматичні речовини тощо. Якщо у виробі міститься жир і водорозчинні вітаміни, то останні інактивуються прогірклим жиром. Особливо це стосується вітамінів групи В і біотину (вітамін Н).

При зберіганні виробів, що містять значну кількість жиру, крім хімічного окислювання, може бути біохімічне окиснення, що здійснюється під дією ферментів ліпази і ліпооксидази. (Кохан & Дорохович, 2014).

Накопичення вільних жирних кислот у продуктах під час зберігання може відбуватися внаслідок перебігу декількох реакцій. Однією з них є гідроліз тригліцеридів. Показником, який характеризує кількість вільних жирних кислот, є кислотне число (Степанова, Рабина & Морозов, 2011).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сухі молочно-борошняні каші є продуктами тривалого зберігання. Провідні виробники продуктів для дитячого харчування встановлюють термін їх зберігання 12—18 місяців. Проте для такого тривалого терміну зберігання необхідна відповідна упаковка.

При зберіганні продуктів у герметичній упаковці можливий розвиток небажаної чи навіть шкідливої мікрофлори. При досягненні значень мікробіологічних показників, вищих за допустимий рівень, продукт стає непридатним до споживання.

Гарантійний термін зберігання, рекомендований провідними виробниками, стосується сухих молочних продуктів, що виготовлені на основі коров'ячого молока. А відповідних досліджень зі встановлення терміну зберігання сухих молочно-борошняних каш на основі кобилячого й овечого молока не виявлено.

Метою дослідження є встановлення терміну зберігання сухих молочно-борошняних каш на основі кобилячого й овечого молока шляхом визначення зміни мікробіологічних показників, зміни перекисного та кислотного чисел.

Матеріали і методи. Досліджувалися сухі молочно-борошняні каші на основі кобилячого й овечого молока. Каші містили 25% борошна — кукурудзяного, рисового, гречаного (наказ «Про затвердження гігієнічних вимог до продуктів дитячого харчування, параметрів безпечності та окремих показників їх якості»). Мікробіологічні показники визначали згідно з (Sert & Mercan, 2021), перекисне число згідно з (Al-Jobourî, 2020), кислотне число згідно з (Abbas, Subaih & Saleh, 2020).

Викладення основних результатів дослідження. Сухі молочно-борошняні каші зберігалися в картонних пачках з внутрішнім пакетом із комбінованого

полімерного матеріалу. Повітря із пакета видаляли і замінювали азотом, пакет герметично закривали шляхом спайки верхнього клапана.

Запаковані продукти зберігалися в герметичній тарі протягом року. Впродовж цього часу досліджувалися зміни мікробіологічних показників. У табл. 1 представлено зміни мікробіологічних показників сухих молочно-борошняних каш у процесі зберігання.

При зберіганні молочно-борошняних каш спостерігається приріст кількості мікроорганізмів. Упродовж 12 місяців зберігання кількість МАФАМ, *B. Cereu* та мікроскопічних грибів збільшилася у 2,4—2,6 раза. Кількість дріжджів за перших 30 днів зберігання збільшилася у 2,5 раза. Через пів року зберігання молочно-борошняних каш дріжджів виявлено дуже мізерну кількість. Це пояснюється поступовим відмиранням дріжджових клітин практично до повного їх зникнення (Sert & Mercan, 2021).

Дослідження мікробіологічних показників дитячих сухих молочно-борошняних каш показало, що бактерії групи кишкової палички, *E. coli*, патогенні мікроорганізми та стафілокок не були виявлені. Вміст МАФАМ, мікроскопічних грибів, дріжджів та *B. Cereu* знаходиться в допустимих межах. Отже, отримані результати свідчать про мікробіологічну безпечність і придатність цих продуктів для вигодовування дітей протягом 12 місяців зберігання.

Таблиця 1. Зміна мікробіологічних показників молочно-борошняних каш для дитячого харчування протягом зберігання

Показник	Термін зберігання				
	1 доба	1 міс	3 міс	6 міс	12 міс
Мезофільні аеробні і факультативно-анаеробні мікроорганізми, мг/кг×1000	0,8	1,1	1,5	1,8	2,0
<i>B. Cereu</i> , мг/кг	16	22	27	36	41
Мікроскопічні гриби, мг/кг	11	14	20	22	26
Дріжджі, мг/кг	2	5	4	0,05	0,05

Також досліджували зміну кислотного числа в процесі зберігання. За контроль було взято суху молочну кашу на основі коров'ячого молока «Малишка». Результати досліджень наведено на рис. 1.

Оцінка стану ліпідного комплексу молочно-борошняних каш показала, що протягом перших трьох місяців зберігання в кашах активно відбувалися гідролітичні й окислювальні процеси. Фермент борошна ліпаза, окислюючи жир до вільних жирних кислот, у процесі зберігання поступово втрачала свою активність у всіх досліджуваних зразках.

У всіх зразках спостерігається подібний характер динаміки накопичення вільних жирних кислот. Накопичення вільних жирних кислот у молочно-борошняних кашах відбувається найбільш інтенсивно в перші три місяці зберігання продуктів. До кінця терміну зберігання інтенсивність утворення продуктів окислення дещо знижується. Так, за перших три місяці зберігання значення кислотного числа зросло на 15...17%, при подальшому зберіганні накопичення вільних жирних кислот складало 11...12%. В процесі всього періоду зберігання найбільший вміст продуктів гідролізу жиру спостерігається в кукурудзяній каші, що

на 27% більше від початкового значення. В гречаній, рисовій каші та каші «Малишка» значення кислотного числа за 12 міс зберігання збільшилось на 25...26%. Отримані дані свідчать, що інтенсивність окислювальних процесів, які відбуваються в ліпідному комплексі продуктів, залежить від кількості жиру в продукті, його жирнокислотного складу та умов зберігання продукту. Так розроблені продукти здатні зберігатися протягом 12 міс.

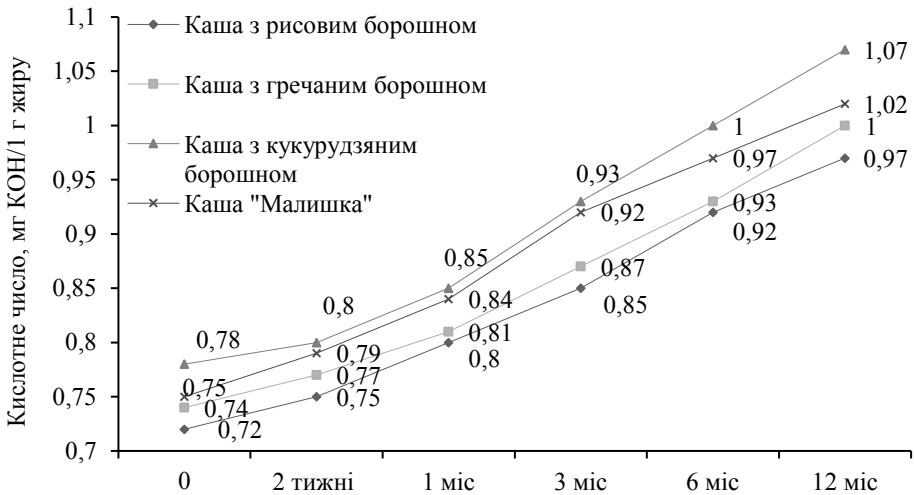


Рис. 1. Зміна кислотного числа в сухих молочно-борошняних кашах у процесі зберігання

Автоокислення ацилгліцеринів і вільних жирних кислот відбувається через утворення вільних радикалів (Шатнюк та ін., 2010). Зміна перекисного числа в процесі зберігання сухих молочно-борошняних каш представлена на рис. 2.

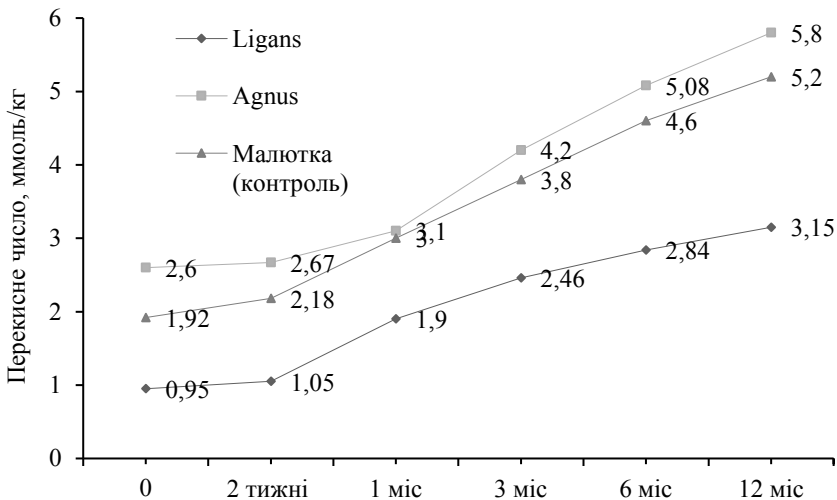


Рис. 2. Зміна перекисного числа в сухих молочно-борошняних кашах у процесі зберігання

Перші два тижні спостерігається повільне накопичення перекисів, при цьому відбувається зародження і частково продовження ланцюгів. Крутий підйом на графіку (протягом трьох місяців) пов'язується з розгалуженням ланцюгів окислення, що призводить до прискорення процесу утворення нових радикалів, а потім і перекисів, та відповідає вираженому характеру окислення жирних кислот та ацилгліцеринів.

Найінтенсивніше процеси окислення в кашах відбуваються протягом першого місяця зберігання. Далі швидкість накопичення перекисів поступово пригнічується. Кількість утворених перекисних сполук у кашах варіює в межах 2...6%.

Практика свідчить про те, що для стійкого молочного жиру значення показника перекисного числа знаходяться в межах 2,34...6,24 ммоль акт. кисню/кг і не повинні бути вище 7,8 ммоль акт. кисню/кг (Cheng та ін., 2017).

Отже, в процесі зберігання сухих молочно-борошняних каш для дитячого харчування протягом 12 місяців ознак псування продукту не виявлено. Кашам властиві процеси окислення жирів, проте через 12 місяців продукти є придатними та безпечними до споживання.

Висновки

Проведені дослідження мікробіологічних показників сухих молочно-борошняних каш для дитячого харчування вказують на те, що ці продукти є безпечними для дитячого організму впродовж заявленого терміну зберігання. Оскільки виявлені мікроорганізми знаходяться на допустимому рівні, небезпечних бактерій та мікроорганізмів не виявлено.

Дослідження з визначення кислотного та перекисного чисел показали, що процеси розпаду тригліцеридів і накопичення перекисів у досліджуваних кашах дещо різнилися, проте різниця із контролем була невелика та допустима.

Отже, досліджувані продукти можуть зберігатися протягом 12 місяців за умови герметичного пакування.

Література

Кохан, О. О. (2014). *Інноваційні технології кондитерських виробів подовженого терміну зберігання*. Матеріали III Міжнародної спеціалізованої науково-практичної конференції «Ресурсо- та енергоощадні технології виробництва і пакування харчової продукції — основні засади її конкурентоздатності». Київ.

Степанова, Е. Н. (2011). Динамика показателей качества и безопасности новых видов растительный масложировых продуктов при хранении. *Техника и технология пищевых производств*, 3, 22—26.

Шатнюк, Л. Н. (2010). Изменение липидного комплекса обогащенной пшеничной муки в процессе хранения. *Хлебопечение России*, 2, 29—31.

Abbas, S. (2020). The Effects of Biological and Chemical Agents on the Management of Main Pests in Tomato Plant. *Al-Qadisiyah Journal For Agriculture Sciences*, 10(2), 325—334.

Al-Jobouri, A. (2020). Studying Some The Functional Properties of Tamarind Tamarindus indica L. Mucilage. *Al-Qadisiyah Journal For Agriculture Sciences*, 10(2), 304—307.

Cheng, H. (2017). High temperature storage of infant formula milk powder for prediction of storage stability at ambient conditions. *International Dairy Journal*, 73, 166—174.

Sert, D. (2021). Effects of ozone treatment to milk and whey concentrates on degradation of antibiotics and aflatoxin and physicochemical and microbiological characteristics. *LWT*, 144, 111226.

INFLUENCE OF RICE FLOUR ON STRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF DOUGH AND BREAD QUALITY

V. Drobot, A. Shevchenko, S. Litvynchuk
National University of Food Technologies

Key words:

Bread
Rice flour
Lecithin
Structural and mechanical properties of dough
IR spectra
Consumer properties

Article history:

Received 23.09.2021
Received in revised form 06.10.2021
Accepted 20.10.2021

Corresponding author:

A. Shevchenko
E-mail:
nastyusha8@ukr.net

ABSTRACT

The last decade was recognized as a time of rapid development of gastrointestinal tract diseases, including inflammatory bowel disease. The etiology of this disease is unknown. The age peak of the incidence is 20—40 years, ie the working population. This negatively affects the economic situation in the world. The course of this disease largely depends on nutrition, because the main approach to reducing morbidity is diet. According to the recommendations of nutritionists the protein content should increase in the diet with maximum restriction of fiber. Bread, as one of the main food products, is an excellent product for adjusting its chemical composition and nutritional value, taking into account the recommendations of nutritionists. The structural and mechanical properties of the dough for the manufacture of bread were characterized by the gas-holding capacity in terms of the specific volume of the dough and the shape-holding capacity in terms of the spread of the dough ball. Studies of conformational changes of protein substances were performed in the near infrared region by IR spectroscopy in the wavelength range 1330—2370 nm with a step of 10 nm. Samples were prepared with lecithin and replacing part of the wheat flour with rice. The use of rice flour reduces gas content by 3.7—20.4%. The diameter of the ball of dough with rice flour during fermentation decreased by 3.7—18.5%, depending on its dosage. This indicated an increase in the viscosity of the dough system due to its biopolymers. The introduction of lecithin and rice flour significantly changes the protein complex of the dough because the main function in the formation of gluten is played by proteins. All reflection spectra of the studied samples, except for the lecithin sample, have a similar character. Samples of all types of raw materials in the analyzed wavelength range preferably had a higher reflection intensity than samples of dough made with their addition. Increasing the dosage of rice flour reduced the specific volume and porosity of bread samples. The rational amount of application of rice flour to replace wheat flour was set at no more than 20%.

ВПЛИВ РИСОВОГО БОРОШНА НА СТРУКТУРНО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТІСТА ТА ЯКІСТЬ ХЛІБА

В. І. Дробот, А. О. Шевченко, С. І. Літвинчук
Національний університет харчових технологій

Останнє десятиліття визнано часом стрімкого розвитку хвороб шлунково-кишкового тракту, зокрема запальних захворювань кишечника. Етіологія цих захворювань невідома. Віковий пік захворюваності припадає на 20—40 років, тобто на працездатне населення. Це негативно впливає на економічну ситуацію у світі. Перебіг цих хвороб значною мірою залежить від харчування, адже основним підходом до зниження захворюваності є дієтотерапія. Згідно з рекомендаціями дієтологів у раціоні варто підвищувати вміст білка при максимальному обмеженні клітковини. Хліб, як один із основних продуктів харчування, є чудовим продуктом для корегування його хімічного складу та харчової цінності, беручи до уваги рекомендації дієтологів.

Структурно-механічні властивості тіста при виготовленні хліба характеризували за газоутримувальною здатністю за показниками питомого об'єму тіста та формоутримувальною здатністю за показником розпливання кульки тіста. Дослідження конформаційних змін білкових речовин проводили у ближній інфрачервоній області методом ІЧ-спектроскопії у діапазоні довжин хвиль 1330—2370 нм з кроком 10 нм. Зразки готували з лецитином та заміною частини пшеничного борошна на рисове. За використання рисового борошна знижується газоутримання на 3,7—20,4%. Діаметр кульки тіста з рисовим борошном за час ферментації зменшився на 3,7—18,5%, залежно від дозування. Це свідчить про підвищення в'язкості тістової системи завдяки його біополімерам. Оскільки основну функцію в утворенні клейковини відіграють білки, внесення лецитину та рисового борошна значно змінює білковий комплекс тіста. Усі спектри відбивання досліджуваних зразків, крім зразка лецитину, мають подібний характер. Зразки всіх видів сировини в проаналізованому діапазоні довжин хвиль переважно мають вищу інтенсивність відбивання, ніж зразки тіста, виготовленого з їх додаванням. При збільшенні дозування рисового борошна знижується питомий об'єм і пористість зразків хліба. Встановлено, що раціональна кількість внесення рисового борошна на заміну пшеничного не більше 20%.

Ключові слова: хліб, рисове борошно, лецитин, структурно-механічні властивості тіста, ІЧ-спектри, споживчі властивості.

Постановка проблеми. Останнє десятиліття визнано часом стрімкого розвитку хвороб шлунково-кишкового тракту, зокрема запальних захворювань кишечника (ЗЗК). До них відносять неспецифічний виразковий коліт (НВК) і хворобу Крона (ХК). Розповсюдженість НВК коливається від 28 до 117, ХК — від 34 до 146 хворих на 100 тис. населення. Етіологія цих захворювань невідома, проте найбільша перевага віддається імуногенетичній теорії виникнення ЗЗК.

Віковий пік захворюваності на НВК припадає на 20—40 років, ХК — на 20—29 років, тобто на працездатне населення. Це негативно впливає на економічну ситуацію у світі (Свінціцький та ін., 2009; Burisch & Munkholm, 2013; Stepanov, Skyrda & Petishko, 2017).

Перебіг цих хвороб значною мірою залежить від харчування, адже основним підходом до зниження захворюваності є дієтотерапія. На ринку України практично не представлений такий сегмент продукції, зокрема хлібобулочної, а отже, відсутні і підходи до створення відповідних виробів. Тому актуальним завданням є розроблення підходів до дієтотерапії за споживання хлібобулочних виробів особами, хворими на ЗЗК. Згідно з рекомендаціями дієтологів у раціоні варто підвищувати вміст білка при максимальному обмеженні клітковини (Forbes та ін., 2017). З цією метою перспективною сировиною з низьким вмістом харчових волокон є продукти переробки рису, зокрема рисове борошно.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На відміну від рекомендацій ВООЗ включати в щоденний раціон харчові волокна, хворим, які страждають на запальні захворювання кишечника, варто споживати цих нутрієнтів якомога менше. Одним із шляхів ефективного зниження в раціоні кількості харчових волокон є заміна рецептурних компонентів з високим їх вмістом на сировину зі зниженою кількістю. З цією метою перспективним напрямком є заміна пшеничного борошна на інші види, зокрема рисове. Відомо використання рисового борошна в технології безглютенових виробів.

Дослідженнями властивостей рисового борошна встановлено, що воно містить менше власних цукрів і характеризується меншою цукроутворювальною здатністю, ніж пшеничне. Газоутворювальна здатність значно залежить від дисперсності частинок. Це впливає на доступність крохмалю і цукрів дії амілолітичних ферментів та доступність цукрів дії ферментів і дріжджів (Грищенко & Дробот, 2014).

Досліджено вплив рисового борошна на показники технологічного процесу та якість виробів при виробництві хліба з суміші картопляного і кукурудзяного крохмалю. Встановлено, що доцільно рисове борошно додавати в рецептуру виробів з крохмалю в кількості до 30% на заміну крохмалю. При цьому встановлено підвищення вмісту ароматуючих речовин у безглютеновому хлібі з рисовим борошном на 12,7% порівняно з хлібом із суміші крохмалів. Також значно підвищується харчова цінність хліба, зокрема в 2,5 рази збільшується вміст білків, зростає вміст калію, магнію, заліза та вітамінів (Михонік & Грищенко, 2017).

Встановлено, що міцність модельних систем з рисовим борошном у кількості 30%, 25% та 15% на заміну кукурудзяного і картопляного крохмалів, через 60 хв ферментації зменшується на 10 Па. Розпливання кульок безглютенового тіста з рисовим борошном зменшується на 8,1%. Підвищення в'язкості тіста впливатиме на показники якості безглютенового хліба (Дробот & Грищенко, 2013).

Було вивчено взаємозв'язок між властивостями рисового борошна та питомим об'ємом хліба, приготовленого із суміші рисового борошна з пшеничним. Використане рисове борошно в основному складалося з багатограних одиночних гранул крохмалю та гладких поверхневих клітин, оточених клітинною стінкою. Рисове борошно з високим вмістом пошкодженого крохмалю складалося лише з дрібних нерівномірних частинок без видимої структури. Менший ступінь пошкодження крохмалю та клітинних структур при меншому розмірі частинок має вирішальне значення для отримання кращого борошна для приготування хліба (Araki та ін., 2009).

Однак наведені дослідження не враховують рекомендації не виключати з раціону харчування хворих на ЗЗК глютен.

Також важливим у раціоні є вживання фосфоліпідів, зокрема фосфатидилхоліну, що є одним з основних мембранних фосфоліпідів, запобігає пошкодженню верхніх і нижніх відділів шлунково-кишкового тракту, бере участь у формуванні захисного шару кишкового муцину.

У хворих на ЗЗК вміст муцину зменшується (Дорофеев, Руденко, Швець & Дорофеева, 2017). Одним із джерел, багатих на фосфатидилхолін, є лецитин.

Метою дослідження є визначення впливу рисового борошна на структурно-механічні властивості тіста та якість готових виробів з пшеничного борошна, до складу яких внесено лецитин.

Матеріали і методи. Для досліджень використовували борошно пшеничне вищого сорту, лецитин соняшниковий з вмістом 95,3% фосфатидилхоліну, борошно рисове.

Зразки готували з додаванням лецитину у кількості 3% до маси борошна. Таке дозування обрали, виходячи з рекомендацій добової норми лецитину для осіб з ЗЗК (Partridge та ін., 2019). Для визначення раціональної кількості борошна рисове дозували у кількості 10%, 20%, 30%, 40% на заміну пшеничного борошна в рецептурі. Контролем був зразок без додаткової сировини.

Структурно-механічні властивості тіста характеризували за газоутримувальною здатністю за показниками питомого об'єму тіста та формоутримувальною здатністю за показником розпливання кульки тіста. Дослідження конформаційних змін білкових речовин проводили у ближній інфрачервоній області методом ІЧ-спектроскопії в діапазоні довжин хвиль 1330—2370 нм з кроком 10 нм.

Показники готових виробів визначали за стандартними методиками.

Статистичну обробку даних проводили за допомогою програмного забезпечення Microsoft Excel XP.

Викладення основних результатів дослідження. Аналіз хімічного складу досліджуваної сировини показав, що борошно рисове містить на 88,5% менше харчових волокон, порівняно з пшеничним (табл. 1).

Таблиця 1. Хімічний склад рисового борошна порівняно з пшеничним борошном вищого сорту

Вміст на 100г продукту	Пшеничне борошно в.с.	Борошно рисове
Білки,г	10,3	6
Жири,г	1,1	1,4
Вуглеводи, г	69,8	70
В т.ч. ХВ, г	3,5	0,4

Хоча борошно рисове містить менше білка, однак він є більш повноцінним, адже вміст амінокислоти лізину, що є лімітуючою в борошні пшеничному, вищий. Амінокислотний скор пшеничного борошна — 0,41, рисового — 0,63.

Кислотність борошна пшеничного та рисового однакова і становить 2,1 град, що свідчить про те, що цей показник не впливатиме на характеристики тіста та готових виробів при заміні пшеничного борошна на рисове.

Газоутримувальну здатність тіста характеризували за показником його питомого об'єму протягом 3 год бродіння.

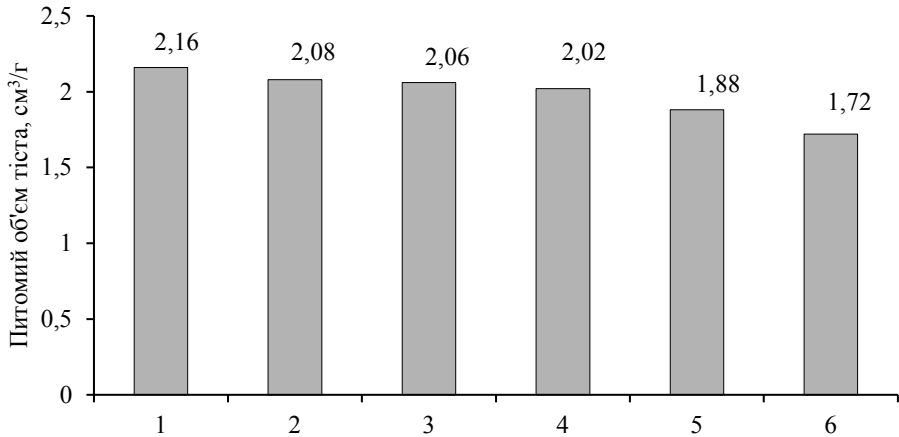


Рис. 1. Питомий об'єм тіста:

1 — контроль; 2 — зразок з лецитином; 3, 4, 5, 6 — з лецитином і рисовим борошном 10%, 20%, 30%, 40% на заміну борошна пшеничного

Встановлено, що за використання рисового борошна знижується газотримання на 3,7—20,4% (рис. 1) за рахунок того, що клейковинний каркас тіста втрачає еластичність і послаблюється, що обумовлено впливом цієї сировини на клейковину пшеничного борошна. Це зумовлено відсутністю в рисовому борошні білків гліадину і глютеніну, які беруть участь у формуванні клейковинного каркасу.

Водночас змінюється в'язкість тіста. Вплив різної кількості рисового борошна на в'язкість тіста характеризували за розпливанням кульки тіста в процесі його ферментації протягом 3 год.

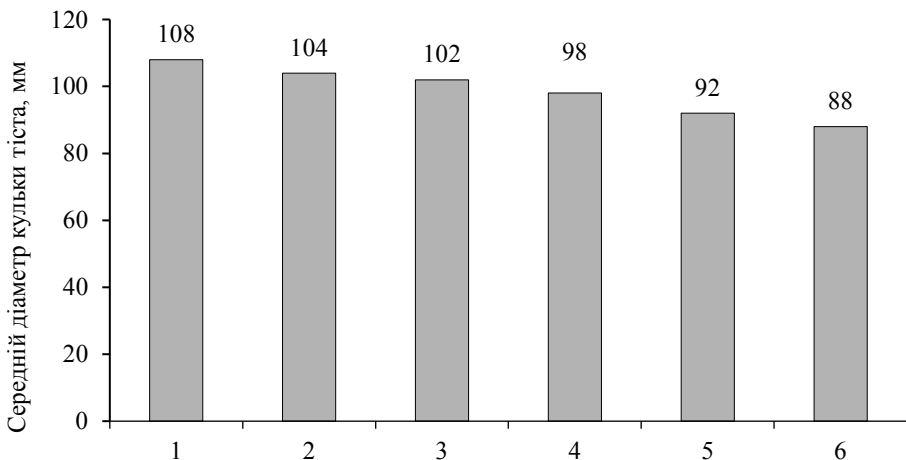


Рис. 2. Розпливання кульки тіста:

1 — контроль; 2 — зразок з лецитином; 3, 4, 5, 6 — з лецитином і рисовим борошном 10%, 20%, 30%, 40% на заміну борошна пшеничного

Встановлено (рис. 2), що діаметр кульки тіста з рисовим борошном за час ферментації зменшився на 3,7—18,5%, залежно від дозування. Це свідчить про підвищення в'язкості тістової системи завдяки його біополімерам (пентозани, білки), що зумовлюють вищу водопоглинальну здатність рисового борошна, порівняно з пшеничним.

Оскільки основну функцію в утворенні клейковини відіграють білки, а внесення лецитину та рисового борошна значно змінює білковий комплекс тіста, вивчали конформаційні зміни білкових речовин тіста методом ІЧ-спектроскопії. Готували зразки тіста з борошна вищого сорту, лецитину, додатково вносили рисове борошно на заміну пшеничного в кількості 20%. Зразки аналізували одразу після замішування та через 3,5 год бродіння. Також було проаналізовано сировину: борошно пшеничне, борошно рисове та лецитин (рис. 3).

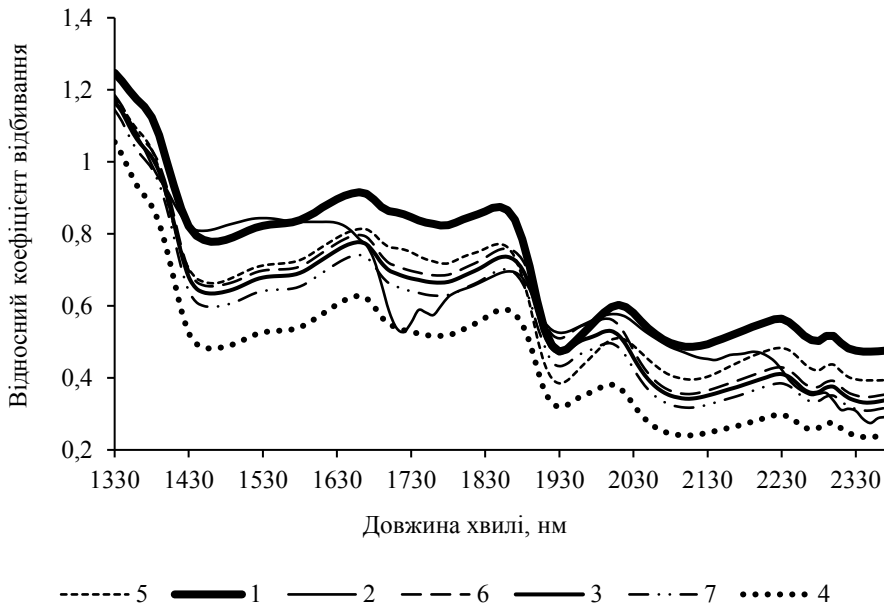


Рис. 3. Інфрачервоні спектри відбивання сировини та зразків тіста:

1 — пшеничне борошно; 2 — лецитин; 3 — тісто з лецитином після замішування; 4 — тісто з лецитином через 3,5 год бродіння; 5 — рисове борошно; 6 — тісто з рисовим борошном після замішування; 7 — тісто з рисовим борошном через 3,5 год бродіння

Як показав аналіз експериментальних даних, усі спектри відбивання досліджуваних зразків, крім зразка лецитину, мають подібний характер. Цю особливість можна пояснити його специфічним хімічним складом (лецитин є фосфоліпідною сумішшю у комбінації з триацилгліцеридами). Спектри пшеничного та рисового борошна між собою відрізняються лише за інтенсивністю відбивання (спектр пшеничного борошна розташований вище). Їх же екстремуми повністю збігаються. Основні мінімуми відбивання спостерігаються на довжинах хвиль: 1460, 1770, 1930, 2110, 2280 нм, максимуми — 1660, 1850, 2010, 2230, 2290 нм.

Зразки всіх видів сировини у проаналізованому діапазоні довжин хвиль переважно мають вищу інтенсивність відбивання, ніж зразки тіста, виготовленого з їх додаванням, що свідчить про конформаційні зміни білкових речовин при замішуванні тіста та в результаті процесів, які відбуваються під час його бродіння.

Спектри відбивання тіста після замішування із додаванням рисового борошна або лецитину майже збігаються (хоча зразок тіста з лецитином розташований дещо нижче). Проте у процесі бродіння протягом 3,5 год їх інтенсивність відбивання значно знижується. Це свідчить про перерозподіл білкових фракцій у процесі бродіння.

Закономірність же вищого розташування спектра відбивання зразка тіста з додаванням рисового борошна порівняно із зразком тіста з додаванням лецитину спостерігається і після їх бродіння. У всіх зразках досліджуваного тіста у певних областях спостерігалось зміщення екстремумів на ± 10 нм порівняно з визначеними характеристичними екстремумами, які мали спектри зразків пшеничного та рисового борошна.

Закономірності зміни технологічних характеристик тістових напівфабрикатів і вплив сировини на якість хліба визначали за пробним випіканням. Результати досліджень наведені в табл. 2.

Таблиця 2. Показники якості готових виробів з рисовим борошном

Показники	Контроль	Зразок з лецитином	З рисовим борошном, % на заміну борошна пшеничного			
			10	20	30	40
Тісто						
Вологість, %	41,8	41,7	41,8	42,0	41,8	41,7
Кислотність, град -початкова -кінцева	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9
	2,4	2,4	2,5	2,5	2,5	2,5
Тривалість бродіння, хв	150					
Тривалість вистоювання, хв	44	44	42	40	39	36
Хліб						
Питомий об'єм, см ³ /100 г	224	234	230	192	162	144
Формостійкість, Н/D	0,56	0,61	0,52	0,46	0,45	0,41
Пористість, %	73	75	75	74	66	63
Кислотність кінцева, град	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,1
Стан поверхні	гладка, без тріщин			³ невеликими тріщинами	зі значними тріщинами	з великими тріщинами
Колір м'якушки	світлий					
Колір скоринки	світло-жовтий					
Структура пористості	рівномірна, дрібна, тонкостінна				нерівномірна, дрібна, товстостінна	
Смак	притаманний виробу					

Зі збільшенням відсотка заміни борошна пшеничного рисовим борошном скорочується тривалість вистоювання тістових заготовок на 2—6 хв. Це пов'язано з підвищеним газоутворенням у тісті, що спричинено більшою податливістю крохмалю рисового борошна амілолізу, ніж пшеничного. Це, у свою чергу залежить від гранулометричного складу борошна. Оскільки розмір частинок рисового борошна значно менше, ніж пшеничного, атакованість біополімерів ферментами більша і доступність цукрів борошна найкраща. Початкова та кінцева кислотність не змінюються при внесенні рисового борошна, адже його кислотність не відрізняється від кислотності пшеничного.

Формостійкість хліба значно знижується, що пов'язано з особливостями формування клейковинного каркасу в тісті з доданням рисової сировини. Кислотність м'якушки досліджуваних виробів практично така ж, як у контрольному зразку.

Зниження питомого об'єму та пористості зразків хліба можна пояснити тим, що рисове борошно має невелику активність амілолітичних ферментів, тому інтенсивність процесу спиртового бродіння в тісті знижується, внаслідок чого воно погано розпушується, а готові вироби мають малий об'єм та бліду скоринку. Також зі збільшенням дозування на поверхні скоринки з'являються тріщини.

Проведені розрахунки вмісту харчових волокон та забезпечення ними добової потреби організму (табл. 3).

Таблиця 3. Вміст харчових волокон у хлібі та забезпечення ними добової потреби організму

	Контроль	3 рисовим борошном, % на заміну борошна пшеничного			
		10	20	30	40
Вміст у 100 г продукту, г	2.65	2.42	2.18	1.95	1.71
Інтегральний скор, %	10.61	9.67	8.73	7.79	6.85
Інтегральний скор, % за рахунок вживання добової норми хліба (277 г)	29.38	26.78	24.17	21.57	18.97

Висновки

Встановлено доцільність збагачення пшеничного хліба продуктами переробки рису, а саме борошна, з огляду на необхідність зниження вмісту клітковини в раціоні хворих на ЗЗК.

За використання рисового борошна знижується газоутримання на 3,7—20,4%, що пояснюється впливом цієї сировини на клейковину пшеничного борошна.

Встановлено підвищення в'язкості тістової системи на 3,7—18,5% за рахунок збільшення водопоглинальної здатності тіста.

Знижується питомий об'єм і пористість зразків. Встановлено, що раціональна кількість внесення рисового борошна на заміну пшеничного не більше 20%.

Література

- Грищенко, А. М., Дробот, В. І. (2014). Технологічні властивості безглютенних видів сировини. *Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій*, 1(46), 162—166.
- Дорофеев, А. Э., Руденко, Н. Н., Швець, Н. И., Дорофеева, А. А. (2017). Место фосфатидилхолина в лечении воспалительного поражения кишечника, *Гастроентерология*, 51(3), 205—208.

Дробот, В. І., Грищенко, А. М., (2013). Технологічні аспекти використання борошна круп'яних культур у технології безглютенового хліба. *Обладнання та технології харчових виробництв: темат. зб. наук. пр.*, 30, 52—58.

Михонік, Л. А., Грищенко, А. М. (2017). Використання рисового борошна в технології безглютенового хліба. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*, 23(2), 241—246.

Свінцицький, А. С., Конопльова, Л. Ф., Фещенко, Ю. І., Яременко, О. Б., Яшина, Л. О., Гаврисюк, В. К. ... Руденок, Ю. В. (2009). *Внутрішня медицина*. Київ: Медицина.

Araki, E., Ikeda, T., Ashida, K., Takata, K., Yanaka, M., Iida, S. (2009). Effects of rice flour properties on specific loaf volume of one-loaf bread made from rice flour with wheat vital gluten. *Food Science and Technology Research*, 15(4), 439—448.

Burisch, J., Munkholm, P. (2013). Inflammatory bowel disease epidemiology. *Current Opinion in Gastroenterology*, 29(4), 357—62.

Forbes, A., Escher, J., Hébuterne, X., Kłęk, S., Krznaric, Z., Schneider, S. ... Bischoff, C. (2017). Clinical nutrition in inflammatory bowel disease. *Clinical Nutrition*, 36(2), 321—347.

Partridge, D., Lloyd, K. A., Rhodes, J. M., Walker, A. W., Johnstone, A. M., Campbell, B. J. (2019). Food additives: Assessing the impact of exposure to permitted emulsifiers on bowel and metabolic health – introducing the FADiets study, *Nutrition Bulletin*, 44(4), 329—349.

Stepanov, Y., Skyrda, I., & Petishko, O. (2017). Chronic inflammatory bowel diseases: epidemiological features in Ukraine. *Gastroenterology*, 51(2), 97—105.

CREATING THE COMPOSITIONS WITH RADIOPROTECTIVE ACTION TO PROTECT THE HUMAN ORGANISM FROM LOW DOSES OF IONIZING RADIATION

G. Simakhina, O. Mezhubovsky, N. Naumenko

National University of Food Technologies

Key words:

*Low-dose radiation,
Radionuclides,
Decorporation,
Radioprotectors,
Adaptogens, antioxidants*

Article history:

Received 03.09.2021
Received in revised form
15.10.2021
Accepted 30.10.2021

Corresponding author:

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

ABSTRACT

There is proven today that even the low doses of ionizing radiation may cause the light form of radiation sickness, immunity decrease and negative remote consequences. Upon being taken in, radionuclides are able to accumulate in tissues and organs, are removed from the organism very slowly, and therefore lead to various diseases, including those oncologic. What is more, the numerous updated studies show that nay the ultra-low doses cause the sporadic breakages in DNA molecules. In other words, DNA molecules are very labile to low and ultra-low radiation doses that, in turn, are capable of affecting the genomic activity.

Since the reduction of radionuclides (formed after the Chernobyl accident and constantly emanating due to the nuclear fuel cycle of nuclear power plants) to the natural level is seen to be possible even in the distant future, more and more attention in both medicine and nutritiology is paid to the measures to prevent the human body from radioactive damage. Therefore, the nutrients with radioprotective and adaptogenic actions are gaining the priority. Because the low radiation doses affect the human organism constantly, constant should be protection from them. Scilicet, the radioprotective substances should permanently fill the organism, which is possible in case of their intake with foodstuffs. Owing to the fact that the essential role in formation of radioprotective effect belongs to amplification of lipid peroxide oxidation, the sufficient content of antioxidant compounds in foodstuffs is of no less importance.

The authors of the presented article accomplished the scientifically proven selection of plant-based compounds with obvious radioprotective, adaptogenic, and antioxidant actions. There was shown that these compounds, alongside with mentioned above, have high anti-histamine and anti-hemorrhage properties, help remove the radionuclides and heavy metals from the organism, and normalize the certain links of metabolism. Henceforth, it would be expedient to use plant-based substances to create various compositional mixtures with special purposes.

СТВОРЕННЯ КОМПОЗИЦІЙ РАДІОПРОТЕКТОРНОЇ ДІЇ ДЛЯ ЗАХИСТУ ОРГАНІЗМУ ЛЮДИНИ ВІД МАЛИХ ДОЗ ІОНІЗУЮЧОЇ РАДІАЦІЇ

Г. О. Сімахіна, О. М. Межубовський, Н. В. Науменко

Національний університет харчових технологій

На сьогодні доведено, що навіть малі дози постійно діючого радіоактивного опромінення можуть викликати легку форму променевої хвороби, зниження імунітету і негативні віддалені наслідки. Радіонукліди, які потрапили в організм людини, здатні накопичуватись у тканинах і органах, дуже повільно виводяться і спричиняють різноманітні захворювання, зокрема онкологічні. Більш того, численні наукові дослідження показали, що і надмалі дози радіоактивного опромінення викликають поодинокі розриви в молекулах ДНК. Тобто молекули ДНК дуже чутливі до малих і надмалих доз опромінення, а вони, своєю чергою, здатні регулювати активність геному.

Оскільки і в далекому майбутньому скоротити до природного рівня надходження в атмосферу радіонуклідів, які утворилися після аварії на ЧАЕС і постійно виникають за рахунок ядерного паливного циклу АЕС, не вбачається за можливе, то все більше уваги і в медицині, і в нутриціології приділяється профілактичним заходам захисту організму людини від радіоактивних ушкоджень. Тому в такій ситуації пріоритетного значення набувають нутрієнти радіопротекторної та адаптогенної дії. Малі дози опромінення діють постійно, то й захист від них теж має бути постійним. Тобто радіопротекторні сполуки повинні надходити постійно в організм людини, а це можливо лише шляхом їх введення разом із харчовими сполуками. Зважаючи на той факт, що у формуванні радіобіологічного ефекту важлива роль належить процесові посилення перекисного окислення ліпідів, то суттєве значення має також наявність у харчових продуктах достатньої кількості антиоксидантів.

У статті здійснено науково обґрунтований вибір рослинних джерел сполук із підвищеним вмістом компонентів радіопротекторної, адаптогенної та антиоксидантної дії. Вони мають антигістамінні та антигеморагічні властивості, сприяють виведенню радіонуклідів і важких металів, нормалізують окремі ланки метаболізму. На основі підібраних рослин можна створювати різноманітні композиційні суміші цільового призначення.

Ключові слова: опромінення, радіонукліди, декорпорація, радіопротектори, адаптогени, антиоксиданти.

Постановка проблеми. Заходи профілактичного та оздоровчого харчування в зоні хронічного опромінення життєво важливі, особливо за умов, коли більшість населення має постійний мікроелементний, вітамінний та амінокислотний дефіцит, недостатнє надходження поліненасичених жирних кислот та вітамінів при вуглеводно-жировому надлишку харчування. Такі хронічні деформації гомеостазу призводять до закономірного зниження резервного потенціалу імунних

(вітамінний та амінокислотний дефіцити) та нейроендокринних (мікроелементний дефіцит) функцій, що різко підсилюються фоною токсичністю середовища та харчових продуктів (Пивоваров & Михалев, 2004).

Сучасна концепція радіопротекторного харчування, тобто загального дієтичного захисту, вкупі із фоновим дотриманням загальних норм здорового харчування, особливо щодо достатньої кількості натуральних амінокислот, вітамінів та мікроелементів для профілактики імунних та нейроендокринних дисфункцій, охоплює три основних напрями (Пивоваров & Михалев, 2004; Українець, Сімахіна & Науменко, 1018):

1. *Попередження* надходження радіонуклідів шляхом насичення організму стабільними сполуками за принципом конкуренції, коли радіоактивні елементи не можуть включатись до складу клітин організму. Для цього необхідна достатня кількість органічного йоду. Поповнення конкурентів цезію (калію, меншою мірою — натрію) та стронцію (кальцію, меншою мірою – магнію та міді) також повинно надходити з відповідними продуктами, мінеральною водою, екстрактами (Баштан, Почерняева, Жукова, Васько & Лымарь, 2016). Таким чином можна запобігти вторинному внутрішньому опромінюванню.

2. *Гальмування* процесу накопичення радіонуклідів і попередження їхньої руйнівної активності, внутрішньоклітинне гасіння біологічної агресивності радіації шляхом введення в організм металів-мішеней, перехоплювачів (перш за все заліза, кобальту, міді, нікелю, кремнію), сірковмісних тіолових ферментів (Ильин, 1997), сполук-пасток, антиоксидантів та адаптогенів, що не лише веде до достовірного захисту, а й до ефекту стимулювання загальних біологічних, імунних процесів.

3. *Видалення* радіотоксинів та інших ксенобіотиків з організму як профілактичний захід завдяки достатній кількості в раціоні різних харчових волокон, перш за все низькометильованих пектинів, та вживанню сорбуючих компонентів, зокрема альгінатів (Стожаров та ін., 2000; Сімахіна, Стеценко & Науменко, 2000).

Варто ще раз підкреслити, що зазначені заходи будуть успішними в разі дотримання загальних норм здорового харчування, передусім надходження з їжею достатньої кількості повноцінних білків. Це дає змогу підвищити загальну резистентність до хронічного внутрішнього опромінення та інфекцій, а також знижує рівень інкорпорації радіонуклідів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Саме тому при конструюванні продуктів радіопротекторної дії необхідно за можливості збагачувати не лише їхній мікроелементний, а й амінокислотний склад. Перспективними джерелами функціональних інгредієнтів, багатих на амінокислоти, є спіруліна, зародки пшениці, проросле зерно пшениці та інших зернових, культури міцелію вищих грибів (Сімахіна, Стеценко & Науменко, 2016), а також люцерна.

Серед пріоритетних застережень щодо харчування в умовах хронічного опромінення фахівці називають також неприпустимість зловживання неякісними жирами, оскільки вони являють собою основу для перекисного окислення ліпідів, беруть участь в утворенні радіотоксинів, руйнуючи імунну систему, є провідни-

ками в організм та накопичувачами гідрофобних ксенобіотиків, зокрема пестицидів, що потенціюють дію іонізуючого опромінення (Корзун & Недоуров, 1995).

Система антиоксидантного захисту організму забезпечує цілісність найважливіших субклітинних біоструктур — мембран та ядерного геному. Речовини-антиоксиданти харчових продуктів підсилюють внутрішні протипроменеві ресурси організму, уповільнюють чи зупиняють реакції вільнорадикального окислення і, отже, зменшують утворення ендогенних радіосенсибілізаторів, радіотоксинів (Jae-Young, Shanura Fernando & Jeon, 2016).

Антиоксидантна дія функціонального харчового продукту великою мірою забезпечується наявністю вітаміну А та каротиноїдів, вітамінів С та Е, а також мікроелементу селену (Сімахіна, Стеценко & Науменко, 2016). Крім того, необхідна оптимальна кількість біогенних мінералів.

Каротиноїди належать до незамінних чинників харчування, оскільки не є ендогенними сполуками. Вони мають регулярно надходити в організм з їжею, особливо як антиоксиданти, оскільки інактивують синглетний кисень. Доцільніше використовувати каротиноїди в якості профілактичного, а не терапевтичного радіопротекторного засобу (Баштан, Почерняева, Жукова, Васько & Лымарь, 2016). β -каротин, що міститься зокрема в гарбузах, порівняно з ретинолом (вітаміном А) має вкрай низьку токсичність навіть у найвищих дозах. Дослідники відзначають його важливе значення для лікування віддалених наслідків радіації і рекомендують збільшити споживання продуктів, багатих каротиноїдами, з метою зменшення ризику радіаційного і спонтанного канцерогенезу (Корзун & Недоуров, 1995). При цьому навіть невелику аліментарну недостатність β -каротину або ретинолу, що не веде до якихось клінічних проявів гіповітамінозу, слід розглядати як фактор, що підвищує чутливість організму до радіації і збільшує канцерогенний ризик (Toog & Savage, 2006).

Харчові волокна різних рослин можуть також зв'язувати певні радіоізотопи, не впливаючи на інші сполуки (Simakhina & Naunemko, 2018). Тому важливо споживати різні харчові волокна в дозі 25—40 г на добу, що забезпечує фізіологічну детоксикацію організму. Усі інші сорбенти можуть лише корегувати недостатнє надходження харчових волокон. Недоліком харчових волокон є відсутність селективної дії: однаковою мірою вилучаються, наприклад, як стронцій та цезій, так і кальцій та калій.

Перспективним інгредієнтом для конструювання продукції з радіопротекторною дією є бурштинова кислота, або харчова добавка Е 363 за європейською системою кодифікації. Бурштинова кислота сприяє підвищенню неспецифічної імунорезистентності, протекції клітинних структур від перекисного і вільнорадикального окислення, нормалізації нейроендокринної регуляції, зниженню ступеня прояву гостроти стресових реакцій, попередженню розвитку станів астенії і розладів, що виникають в постстресовий період; профілактиці депресій та інших дисфункцій центральної нервової системи тощо. Вкрай важливим є антигіпоксичний ефект бурштинової кислоти, що уповільнює накопичення вільнорадикальних продуктів у крові та мозку. Бурштинова кислота запобігає перекисному окисленню ліпідів (ПОЛ) в організмі, яке різко активізується при опромінуванні.

Радіопротекторна дія бурштинової кислоти в основному пов'язана із впливом на метаболічні клітинні процеси (зменшення оксигенації цитоплазми і ядра, активація клітинного дихання, збільшення числа АТФ і білків) (Шахмарданова, Гулевская & Хананашвили, 2016; Кожокару, 2008).

Метою статті є науково обґрунтований вибір рослинних джерел сполук із підвищеним вмістом компонентів радіопротекторної, адаптогенної та антиоксидантної дії. На основі підібраних матеріалів можна створювати різноманітні композиційні суміші цільового призначення.

Викладення основних результатів дослідження. Відповідно до поставленої мети, здійснено аналіз біохімічного складу рослинних матеріалів, які відзначаються підвищеними концентраціями сполук радіопротекторної, антиоксидантної та адаптогенної дії. До числа таких матеріалів потрапили ягоди чорної смородини, зародки пшениці, люцерна, чорний перець, бурштинова кислота.

Наводимо детальний опис біохімічного складу кожного з цих предметів дослідження, акцентуючи увагу на тих компонентах, які безпосередньо визначають їхні радіопротекторні властивості.

Так, ягоди чорної смородини містить наступні біокомпоненти:

1. Біофлавоноїди як антиоксиданти у вигляді катехинів та аскорбінової кислоти. Поєднання біофлавоноїдів з аскорбіновою кислотою потенціє їхні властивості (Українець & Сімахіна, 2006). Для композицій радіопротекторної дії суттєвим є також факт синергії вітаміну С та селену і сприяння відновленню у кишківнику іонів Fe^{3+} до Fe^{2+} , що є умовою всмоктування заліза — металу-мішені радіоактивного стронцію.

2. Пектини. Вони входять до числа нутрицевтиків, широко вживаних у раціоні здорового харчування як один із украй необхідних чинників зниження всмоктування, накопичення і прискорення виведення ксенобіотичних сполук (Сімахіна, Стеценко & Науменко, 2016). Наявність у пектинових речовинах вільних карбоксильних груп галактуранової кислоти зумовлює їхню властивість зв'язувати в травному каналі іони металів з подальшим утворенням нерозчинних комплексів (пектинати, пектати), які не всмоктуються і виводяться з організму (Донченко, 2000; Смутьський, Поязитис & Клусковская, 1993). Отже, пектини належать до комплексують сполук (комплексони, хелати), основна властивість яких — здатність утворювати стійкі комплекси з багатьма двовалентними і тривалентними важкими металами і рідкоземельними елементами, а також їхніми солями.

3. Цинк і селен у значних кількостях (Смутьський, Поязитис & Клусковская, 1993) як потужні антиоксиданти. Роль ультрамікроелементу селену серед біологічних антиоксидантів варто виділити особливо. Спектр дії селену досить широкий. Він виконує каталітичну, структурну та регуляторну функції, взаємодіє з вітамінами, ферментами та біологічними мембранами, бере участь в обміні жирів, білків і вуглеводів. Під його впливом відбувається зміна швидкості утворення АТФ. Селен функціонує в окисно-відновлювальній системі клітинних мембран і входить до одного з найпотужніших антиоксидантних ферментів — глутатіонпероксидази (Шабалина, Моргунова, Орлова & Фадеев, 2011). Подібно до цинку і на відміну від інших металів зі змінною валентністю,

поводиться як антиоксидант і майже ніколи — як прооксидант (Баштан, Почерняева, Жукова, Васько & Лымарь, 2016). Органічна форма селену в сировині означає, що цей критичний для онкопрофілактики та радіопротекції елемент без побічних ефектів значно інтенсивніше накопичуватиметься в організмі людини (Георгиевский, 2009). Є достовірні наукові дані про прямий зв'язок споживання селену і захворюваннями щитоподібної залози та синергічну дію його з вітамінами А, С, Е, В2, В6 та йодом (Шабалина, Моргунова, Орлова & Фадеєв, 2011). Селен є антагоністом важких металів, що особливо важливо для жителів міст і забруднених територій.

4. Органічні кислоти — бурштинова, лимонна, яблучна.

5. Унікальний комплекс макро- та мікроелементів, у тому числі кобальт, необхідний для щитоподібної залози, оскільки входить до складу вітаміну В12 та впливає на стан системи кровотворення. Це сприяє здоровому нейроендокринному фону в організмі, який зазнає руйнівного впливу хронічного радіоактивного опромінення.

Наступним компонентом, який ми пропонуємо включити до композиційної радіопротекторної суміші, є зародки пшениці.

Зародки пшениці є побічним продуктом у виготовленні пшеничного борошна, який використовується в харчовій промисловості для збагачення продукції. Містять наступні компоненти, суттєві для досягнення радіопротекторного ефекту:

- селен, цинк та вітамін Е у значній кількості як потужні антиоксиданти;
- унікальний комплекс незамінних амінокислот (аргініну — 1,867; валіну — 1,198; гістидину — 0,643; ізолейцину — 0,847; лейцину — 1,571; метіоніну — 0,456; триптофану — 0,317; треоніну — 0,968; фенілаланіну — 0,928 г / 100 г) та замінних амінокислот (аланіну — 1,472; аспарагінової кислоти — 2,07; гліцину — 1,424; глутамінової кислоти — 3,995; проліну — 1,231; серину — 1,102; тирозину — 0,704; цистеїну — 0,458 г / 100 г). Важливість амінокислот для радіопротекції переконливо доведено на досвіді наслідків аварії на ЧАЕС, у тому числі клінічно (Баштан, Почерняева, Жукова, Васько & Лымарь, 2016; Стожаров, 2000).

- залізо як метал-мішень, що сприяє гасінню ефекту опромінювання шляхом зв'язування каталізаторів вільнорадикальних процесів;

- мідь, що виступає конкурентом Sr^{85} ;

- інші макро- та мікроелементи як чинник загального нейроендокринного здоров'я організму людини;

- поліненасичені жирні кислоти (лінолева, ліноленова), що забезпечують засвоєність каротиноїдів;

- вітаміни групи В як синергісти антиоксидантної дії селену.

Основним чинником комплексної дії люцерни є унікальний комплекс мікроелементів цієї рослини, що його просто неможливо отримати з городини. Виступає як фітоадаптоген та імуностимулятор, потужний фактор очищення організму та насичення його органічними мікро- та макроелементами (особливо кальцієм, фосфором, залізом, цинком, міддю, калієм, кремнієм) і унікальним полівітамінним комплексом (А, Е, К, С, К, РР, В1, В5, В6, В9, Н), в тому числі такими рідкісними для рослин, як вітаміни D2, D3 і навіть В12, необхідним для

нормального функціонування щитоподібної залози, що серйозно страждає від опромінювання.

Завдяки значному вмісту вітаміну К, що використовується печінкою для продукування гормонів, відповідальних за зсідання крові, разом з вітамінами С, Е, В1 люцерна попереджає крововиливи й кровоточивість, застосовується при геморагічному синдромі, коли порушується формула крові внаслідок радіаційного опромінення. Цей вітамін сприяє також нормалізації загального обміну речовин в організмі. Значний вміст кальцію забезпечує конкурентне заміщення і видалення з організму радіоактивного стронцію. За даними вітчизняних і закордонних дослідників, збагачення харчового раціону засвоюваним кальцієм знижує небезпеку впливу радіоактивного стронцію на організм людини приблизно в півтора рази (Сімахіна, Стеценко & Науменко, 2016). Численні органічні кислоти сприяють покращенню формули крові та очищенню організму. Залізо в активній формі сприяє запобіганню анемії та покращує транспорт кисню до усіх клітин та органів. Наявність вітамінів групи В додатково забезпечує його максимальне засвоєння. Вміст йоду та міді сприяє здоров'ю щитовидної залози.

Люцерна містить велику кількість білків (у тому числі 8 незамінних амінокислот), і саме в якості альтернативи генномодифікованій сої успішно продається на світовому ринку. Хлорофіл люцерни сприяє подоланню хронічних запальних процесів та мікозів, фактично виступаючи в якості природного антибіотика.

Чорний перець виступає як радіопротектор завдяки вмістові:

- біофлавоноїдів як антиоксидантів у вигляді лігнанів (Баштан, Почерняєва, Жукова, Васько & Лымарь, 2016);

- заліза як металу-мішені, що сприяє гасінню ефекту опромінювання шляхом зв'язування каталізаторів вільнорадикальних процесів (Сімахіна, Стеценко & Науменко, 2016);

- калію як конкурента радіоактивного цезію;

- кальцію та міді як конкурентів радіоактивного стронцію;

- цинку та селену як потужних антиоксидантів;

- вітамінів групи В як синергістів антиоксидантної дії селену;

- вітаміну К, що попереджає геморагічний синдром при опроміненні.

Як ендогенна сполука бурштинова кислота бере участь у так званому циклі трикарбонових кислот, або циклі Кребса, універсальному метаболічному шляху окислення в клітинах живих організмів продуктів розпаду жирів, вуглеводнів і білків, при якому виділяється енергія, необхідна для життєдіяльності. Клінічно доведено, що в малих дозах бурштинова кислота стимулює організм людини без ксенобіотичних ефектів порівняно із синтетичними препаратами, запобігає старінню, чинить онкопротекторний, антивірусний та антимікробний ефект, нейтралізує молочну кислоту у спортсменів. На сьогодні існує велика кількість вітчизняних і зарубіжних фармацевтичних препаратів бурштинової кислоти чи з її вмістом («Лимонтар», «Реамберин», «Мексидол», «Цитофлавін», «Конферон», «Офтан-Катахром» тощо), а також харчових добавок («Янтамир», «Яна», «Янто-вит», «Бизон», «Янтарний еликсир»). Вони підвищують адаптаційні можливості організму до дії факторів і сприяють підтримці гомеостазу, при цьому багато з них мають досить широкую терапевтичну дію і, що важливо, є низькотоксичними.

Отож, на основі літературних даних ми підбрали ті рослинні матеріали, які здатні захищати клітини живого організму від радіоактивних уражень.

Цілющі властивості багатьох рослин відомі давно, однак їхні біологічно активні речовини, які й зумовлюють і профілактичний, і лікувальний ефекти ще недостатньо вивчено. Тому необхідно для створення фітокомпозицій обирати ті сировинні матеріали, біохімічний склад і фармакологічна активність яких не викликають сумнівів.

Розглянемо на конкретному прикладі, як проводиться прогнозування та створення композиції радіопротекторної дії. Таку фітокомпозицію можна використати як основу для бальзамів, збагачення слабоалкогольних, безалкогольних, соковмісних напоїв та харчових продуктів.

Настоянки — це забарвлені рідкі спиртові або водно-спиртові витяжки з лікарської сировини, отримані без нагрівання і видалення екстрагентів. Вони належать до лікарських форм, які введені до медичної практики ще Парацельсом (1493—1541) і досі не втратили свого значення. Їх широко використовують як у медицині, так і в харчовій промисловості. При виготовленні настоянок з однієї масової частини рослинної сировини отримують п'ять об'ємних частин готового продукту; із сильнодіючої сировини — 10 частин продукту.

Настоянки можуть бути простими (їх отримують з одного виду сировини) і складними, що представляють собою суміш витяжок з кількох рослин. Для отримання настоянок використовують або висушений рослинний матеріал, або свіжий.

У межах цього дослідження це має бути багатокомпонентна витяжка з підібраних матеріалів, що мають широкий спектр профілактичного та лікувального впливу, передусім захищають організм людини від невеликих доз постійного радіоактивного опромінення, яким піддається практично все населення України.

Наукові дослідження в галузі хіміко-фармацевтичних наук, нутриціології, фармаконутриціології, харчової хімії, використання ресурсощадних, високо-ефективних технологій і наявність обладнання дає можливість створювати все досконаліші науково обґрунтовані фітокомпозиції з доведеним позитивним впливом на всі органи та функції організму людини. Наприклад, для розроблюваної нами композиції важливе значення мають мембранопротекторні функції біофлавоноїдів, оскільки саме завдяки їм зберігається цілісність клітинних мембран навіть при несприятливих екологічних впливах. Ця група біологічно активних сполук, яка на сьогодні налічує понад 350 речовин різної ефективності, представлена в усіх рослинах, які входять до складу нової фітокомпозиції. Хоча найбільша їх кількість припадає на ягоди чорної смородини. Тому саме ця сировина склала основу даної композиції.

Літературні дані і власні експериментальні дослідження свідчать про те, що біофлавоноїди ягід смородини представлені катехінами, лейкоантоціанами, фенол-кислотами, антоціанами, флавонолами. Кожна із цих сполук має певну мембраностабілізуючу активність і запобігає накопиченню радіонуклідів в організмі людини (Laczkó-Zold, Komlósi & Ülkei, 2018).

Вміст лейкоантоціанів та катехінів у більшості сортів смородини значно вищий, ніж інших Р-активних сполук, що зумовлює значну біологічну активність

їх плодів. Так, вміст катехинів коливається від 856 до 2712 мг%, а лейкоантоціанів — в межах від 72 до 1696 мг%. Сумарний вміст катехинів та лейкоантоціанів корелює для всіх вивчених нами сортів смородини з сумарною кількістю дубильних та барвних речовин, які також відзначаються здатністю зв'язувати і виводити з організму людини різні за структурою ксенобіотики.

Ягоди чорної смородини відзначаються також оптимальним поєднанням концентрацій біофлавоноїдів та аскорбінової кислоти. Причому ці сполуки містяться у різних вегетативних органах рослини, про що свідчать отримані нами експериментальні дані (табл. 1).

Таблиця 1. Масова частка основних груп вітамінів у вегетативних органах смородини

Вегетативний орган	Масова частка вітамінів, мг%				
	С	Р	В2	В5	В7
лист	469,0	5020,0	сліди	2,42	0,02
бруньки	544,0	4422,0	0,53	3,54	0,056
ягоди	580,0	2010,0	0,16	0,93	0,1

Багатство ягід, листя та бруньок чорної смородини на вітаміни С і Р робить її надзвичайно цінним джерелом для виробництва продуктів оздоровчого та профілактичного призначення, зокрема радіопротекторної дії. Природна комбінація цих вітамінів має виключно високу фізіологічну активність, вони спільно беруть участь у процесах біологічного окислення (Laczkó-Zold, Komlósi & Ülkei, 2018).

Відзначено синергізм дії Р-активних речовин і аскорбінової кислоти. Саме цим пояснюється висока ефективність біологічної дії природних джерел вітаміну С — продуктів рослинного походження, особливо чорної смородини, у яких йому завжди є супутнім вітамін Р, що сприяє засвоєнню і накопиченню аскорбінової кислоти в тканинах та органах.

При створенні нової фітокомпозиції слід також ураховувати синергізм дії аскорбінової кислоти з бурштиновою (у співвідношенні 10:1), що сприяє відтворенню природних реакцій мобілізації енергетичного обміну в організмі (Singh & Gupta, 2008). Саме перетворення бурштинової кислоти пов'язане з виробленням підвищеної кількості енергії, необхідної для забезпечення життєдіяльності організму в умовах несприятливого екологічного довкілля. І при зростанні навантаження на будь-яку із систем організму підтримання її функціонування забезпечується переважно за рахунок окислення бурштинової кислоти. А взаємодія з аскорбіновою кислотою дає можливість значно підвищити потужність системи енерговироблення, активізуючи адаптаційні та резистентні властивості організму в умовах постійного радіоактивного опромінення малими дозами.

Враховуючи усі зазначені чинники, пропонуємо такий якісний та кількісний склад композиційної суміші (по свіжій сировині):

- ягоди чорної смородини — 68%;
- зародки пшениці — 10%;
- люцерна — 15%;
- чорний перець — 2%;
- бурштинова кислота — 5%.

У такій композиції дотримано оптимальне співвідношення між вмістом аскорбінової кислоти та біофлавоноїдами (1:4) і аскорбіновою та бурштиновою кислотами (10:1).

Рівень мікробіологічної чистоти такої композиційної суміші у вигляді настоянки як свіжоприготовленої, так і через 3 місяці зберігання не перевищує гігієнічних нормативів, тобто вона є безпечною для споживачів (табл. 2).

Таблиця 2. Рівень мікробіологічної чистоти настоянки

Показник	Гігієнічний норматив	Свіжоприготовлена	Через 3 місяці зберігання
МАФАнМ, КУО/г	$5,0 \cdot 10^4$	$2,1 \cdot 10^2$	$2,8 \cdot 10^2$
БГКП (коліформи) в 0,1 г	Не допускається	Не виявлено	Не виявлено
Плісені, КУО/г	$5,0 \cdot 10^2$	Не виявлено	Не виявлено
Дріжджі, КУО/г	$2,0 \cdot 10^2$	Не виявлено	Не виявлено

Висновки

Малі дози іонізуючої радіації підвищують частоту генетичних порушень в опромінених клітинах організму. Це викликає різноманітні генетичні дефекти, що, окрім виникнення різних захворювань, призводить до народження дітей зі спадковими аномаліями. Використання штучних ентеросорбентів та класичних медикаментозних радіопротекторів неефективне для масової профілактики радіаційних уражень. Більш того, фахівці-радіобіологи переконані, що у вирішенні проблеми первинної та вторинної профілактики застосування таких препаратів є інколи навіть шкідливим. Їх використання виправдане лише в разі гострих променевих уражень. Тому таку профілактику доцільно реалізувати аліментарним шляхом. Це пов'язано з розробленням і виробництвом оздоровчих продуктів з оптимальною концентрацією сполук радіопротекторної, адаптогенної, антиоксидантної дії. Їх постійне надходження в організм людини зменшує дозу внутрішнього опромінення, прискорює процес декорпорації радіонуклідів, підвищує стійкість організму до несприятливих зовнішніх впливів. Сільськогосподарська, лікарська, дикоросла сировина, розповсюджена на території України, є багатим джерелом сполук-протекторів. Науково обґрунтований вибір рослинних культур і створення композицій цільового призначення дає можливість розробити рецептури нових продуктів, напоїв, екстрактів тощо для масової профілактики радіаційних впливів.

Література

Баштан, В. П., Почерняева, В. Ф., Жукова, Т. А., Васько, Л. Н., Лымарь, Л. А. (2016). Средства защиты организма от действия ионизирующего излучения. Полтава Взято з: http://elib.umsa.edu.ua/jspui/bitstream/umsa/2573/1/Sredstva_zaschiti_organizma.pdf.

Георгиевский, В. И., Анненков, Б. В., Самохин, В. Т. (2009). *Минеральное питание животных*. Москва: Колос.

Донченко, Л. В. *Технология пектина и пектинопродуктов*. Киев: Наукова думка, 2000.

- Ильин, Л. А. (1997). *Основы защиты организма от воздействия радиоактивных веществ*. Москва: Атомиздат.
- Кожокару, А. Ф. (2008). Механизм действия радиопротекторов и космической радиации на мембранных системах и целом организме. *Фундаментальные исследования*, 9, 100—102. Взято з: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=3766> (дата звернення 25.05.2021).
- Корзун, В. Н., Недоуров, С. И. (1995). *Радиация: защита населения*. Киев: Наукова думка, 112 с.
- Пивоваров, Ю. П., Михалев, В. П. (2004). Радиационная экология: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. Москва: Издательский центр «Академия». Взято з: <http://kursak.net/pivovarov-yu-p-radiacionnaya-ekologiya/>.
- Салеба, Л. В. (2018). Пектин: структура, властивості, біологічні функції. *Вісник Херсонського національного технічного університету. Серія: Технологія легкої і харчової промисловості*, 2(65), 143—149. Взято з: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtu_2018_2_21.
- Сімахіна, Г. О., Стеценко, Н. О., Науменко, Н. В. (2016). *Біологічно активні речовини в харчових технологіях*: підручник. Київ: НУХТ
- Сімахіна, Г. О., Науменко, Н. В. (2015). *Технологія оздоровчих харчових продуктів*: підручник. Київ: НУХТ.
- Смульский, С. П., Поязитис, В. Г., Клуковская, И. Б. (1993). Взаимодействие антоцианов винограда со слоями тяжелых металлов и пектинов и получение пищевых продуктов с радиозащитным действием. *Медико-биологические аспекты разработки продуктов питания*. Киев: НИИ гигиены питания.
- Стожаров, А. Н., Квиткевич, Л. А., Солодкая, Г. А., Аветисов, А. Р., Синякова, О. К., Сычик, С. И. (2000). *Радиационная медицина*. Минск: Изд-во МГМИ.
- Українець, А. І., Сімахіна, Г. О., Науменко, Н. В. (2018). *Перспективні технологічні процеси виробництва нових продуктів та дієтичних добавок*: підручник. Київ: НУХТ.
- Українець, А. І., Сімахіна, Г. О. (2006). Нові технології оздоровчих харчових продуктів радіопротекторної дії. *Колега*, 6, 9—15.
- Шабалина, Е. А., Моргунова, Т. Б., Орлова, С. В., Фадеев, В. В. (2011). Селен и щитовидная железа. *Клиническая и экспериментальная тиреоидология*, 5, 7—15.
- Шахмарданова, С. А., Гулевская, О. Н., Хананашвили, Я. А. и др. (2016). Препараты янтарной и фумаровой кислот как средства профилактики и терапии различных заболеваний. *Журнал фундаментальной медицины и биологии*, 3, 16—30. Взято з: <https://cyberleninka.ru/article/n/preparaty-yantarnoy-i-fumarovoy-kislot-kak-sredstva-profilaktiki-i-terapii-razlichnyh-zabolevaniy>.
- Laczkó-Zold, E., Komlósi, A., Ülkei, T. et al. (2018). Extractability of polyphenols from black currant, red currant and gooseberry and their antioxidant activity. *Acta Biologica Hungarica*, 69(2), 159—169.
- Jae-Young, O., Shanura Fernando, I. P., Jeon, Y.-J. (2016). Potential applications of radioprotective phytochemicals from marine algae. *Algae*. Vol. 31(4). P. 403—414.
- Simakhina, G., Naunemko, R. (2018). Using the Non-Traditional Raw Materials to Create the Food Fiber Complexes. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції “Universum View-11”, Вінниця: ТОВ “Нілан-ЛТД”.
- Singh, V. P., Gupta P. (2008). Synthesis and spectral studies of metal (II) complexes with succinic acid dihydrazones and their biological activity. *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 42, 196—202.
- Toor, R. K., Savage, G. P. (2006). Changes in major antioxidant components of tomatoes during post-harvest storage. *Food Chemistry*. Vol. 99(4). P. 724—727.

NANOBIOTECHNOLOGICAL BASICS OF THE TARGETED ENRICHMENT OF WHEY WITH MINERAL ELEMENTS

O. Kochubei-Lytvynenko

National University of Food Technologies

K. Lopatko

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Key words:

*Whey
Mineral elements
enrichment
Magnesium
Manganese
Electrosparking treatment
Electrosparking discharge*

Article history:

Received 04.10.2021
Received in revised form
13.10.2021
Accepted 27.10.2021

Corresponding author:

O. Kochubei-Lytvynenko

E-mail:

nmiht_nuft@ukr.net

ABSTRACT

This research shows the nanobiotechnological basics and regularities of the targeted enrichment of whey with magnesium, and manganese-containing particles due to the electrospark dispersion of metal granules directly in its medium. The experimental device used for whey electrosparking treatment was also described along with its technical characteristics. The mechanism of formation of metal-containing particles under the action of high plasma temperatures in the channel of electrospark discharge, which occurs in whey and is, as it was found experimentally, $5.0 \dots 5.5 \cdot 10^3$ K between magnesium granules and $3.0 \dots 4.0 \cdot 10^3$ K between manganese granules.

For manganese granules it was clarified and for magnesium granules it was established using mathematical modeling, that the rational values of the influential factors of electrospark dispersion, were: voltage (80...100 V) and capacitor capacity (100 μ F), at which the dominance of nanosized and ultrafine fractions over the microfraction of metal-containing particles is achieved. The results of researches of disperse characteristics of the formed magnesium and manganese-containing particles, their morphology, elemental composition are presented. The practical significance of magnesium oxide for the technology of dry dairy products as an anti-caking agent is noted.

The regularities of the process of enrichment of whey with magnesium (1.8...4.1 times) and manganese (1.5...4.2 times) due to the electrospark dispersion of conductive granules of the corresponding metals depending on the duration of processing (30...180 s) are studied.

The nature of the course of physicochemical and biochemical processes in whey treated with electrospark discharges is clarified. The absence of the negative effect on the composition and properties of whey was proved. The potential for the formation of target functional and technological properties in it is revealed, in particular due to the formation of nanoparticles of biologically valuable metals, partial conversion of lactose into lactobionic acid, formation of magnesium oxide as an anti-caking additive.

НАНОБІОТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ СПРЯМОВАНОГО ЗБАГАЧЕННЯ МОЛОЧНОЇ СИРОВАТКИ МІНЕРАЛЬНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ

О. В. Кочубей-Литвиненко

Національний університет харчових технологій

К. Г. Лопатько

Національний університет біоресурсів і природокористування України

У статті розвинуто нанобіотехнологічні основи та закономірності спрямованого мінерального збагачення молочної сироватки магніє- і манганвмісними частинками внаслідок електроіскрового диспергування гранул металів безпосередньо в її середовищі. Описано експериментальну установку, на якій реалізовували електроіскровий спосіб оброблення молочної сироватки та її технічні характеристики. Поглиблено механізм утворення металовмісних частинок під дією високих температур плазми в каналі електроіскрового розряду, що виникає в молочній сироватці і становить, як було з'ясовано експериментальним шляхом, $5,0 \dots 5,5 \cdot 10^3$ К між гранулами магнію та $3,0 \dots 4,0 \cdot 10^3$ К між гранулами мангану.

Математичним моделюванням для гранул мангану уточнено, а для магнію встановлено раціональні значення впливових чинників електроіскрового диспергування, а саме: напруги (80...100 В) та ємності конденсатора (100 мкФ), за яких досягається домінування нанорозмірної та ультрадисперсної фракцій над мікрофракцією металовмісних частинок. Представлено результати досліджень дисперсних характеристик утворених магніє- та манганвмісних частинок, їхньої морфології, елементного складу. Відмічено практичне значення магній оксиду для технології сухих молочних продуктів як антизлежувальної речовини.

Вивчено закономірності процесу збагачення молочної сироватки магнієм (1,8...4,1 рази) і манганом (1,5...4,2 рази) унаслідок електроіскрового диспергування струмопровідних гранул відповідних металів залежно від тривалості оброблення (30...180 с).

З'ясовано характер перебігу фізико-хімічних і біохімічних процесів у молочній сироватці, обробленій електроіскровими розрядами. Доведено відсутність негативного впливу на склад і властивості сироватки молочної. Розкрито потенціал для формування в ній цільових функціонально-технологічних властивостей, зокрема внаслідок утворення наночастинок біологічно цінних металів, часткового перетворення лактози у лактобіонову кислоту, формування оксиду магнію, як антизлежувальної добавки.

Ключові слова: *молочна сироватка, збагачення мінеральними елементами, магній, манган, електроіскрове оброблення, електроіскровий розряд.*

Постановка проблеми. До організму людини життєво необхідні макро- та мікроелементи надходять з питною водою, їжею, а також з мінеральними та

вітамінно-мінеральними комплексами, біологічно-активними добавками. Проте проблема дефіциту цілого ряду мінеральних речовин у раціоні харчування середньостатистичної людини залишається недостатньо вирішеною й актуальною для всієї продовольчої сировини та харчових продуктів. На особливу увагу заслуговують так звані біоелементи або біогенні елементи, що забезпечують життєдіяльність організму людини, зокрема, магній і манган (Скальний & Рудаков, 2004; Спиричев, Шатнюк & Позняковский, 2005).

Сироватка молочна містить магній у середньому до 10...12 мг / 100 г сироватки, а манган — в середньому 4 мкг / 100 г (Храмцов, 2001). До того ж унаслідок баро- та електромембранних методів, що останнім часом набули широкого використання під час перероблення молочної сироватки, на рівні із бажаним з технологічної точки зору видаленням одновалентних йонів натрію, калію, хлору тощо, спостерігається зниження вмісту цих біологічно цінних елементів залежно від селективності мембран (Chen, Eschbach, Weeks, Gras & Kentish, 2016; Гондарь, Романчук & Минорова, 2015; Кугучук, Zmieviskii & Myronchuk, 2014; Змієвський, 2017; Шипулин, Стрельченко & Фисенко, 2012).

Враховуючи технологічну роль магнію і мангану, яку вони здатні відгравати в молочній сировині (Stehlik-Tomas, Zetic, Stanzer, Grba & Vahcic, 2004; Пономарева, Черныш & Прохорчик, 2001; Walker, 1994; Birch, Ciani & Walker, 2003; Pironcheva, 1998; Беспоместных, 2014), покращуючи таким чином її функціонально-технологічні властивості та біологічну цінність, перспективним є розроблення інноваційних способів спрямованого збагачення сироватки молочної цінними мінеральними елементами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз можливих шляхів і способів поповнення дефіциту мінеральних елементів свідчить, що перспективним у цьому напрямі є вивчення доцільності збагачення молочної сироватки магнієм і манганом під час електроіскрового диспергування струмопровідних гранул металів в її середовищі (Лопатько, Афтанділянц, Зазимко & Трач, 2016).

Багаторічні дослідження електроіскрових процесів (Верхотуров, Подчерняева & Коневцов, 2010; Золотых, 2003), діагностика плазмового каналу розряду (Лопатько, Афтанділянц, Зазимко & Трач, 2016; Бабич та ін., 2010), вивчення фізичних явищ, що супроводжують електричний розряд, встановлення взаємозв'язків між електрофізичними параметрами та ерозією металів, дали змогу запропонувати спосіб об'ємного електроіскрового диспергування струмопровідних гранул металів для отримання частинок біологічно активних металів в нано-, ультра- та мікророзмірному діапазонах (Щерба, Захарченко, Лопатько, Шевченко & Ломко, 2010; Лопатько, 2015; Байрамов, 2012).

Науковцями Національного університету біоресурсів і природокористування України накопичено значний практичний досвід реалізації способу електроіскрового диспергування струмопровідних гранул заліза, міді, срібла, цинку, алюмінію, кобальту, молібдену тощо, що доводить утворення у водному середовищі нанорозмірної й ультрадисперсної фракції частинок металів разом із мікрофракцією (Лопатько, Афтанділянц, Зазимко & Трач, 2016; Лопатько, 2015). Причому встановлено, що масове співвідношення між цими фракціями за

умови рівності інших електричних параметрів розрядного контуру залежить від напруги зарядки конденсатора та його ємності (Лопатько, Афтанділянц, Зазимко & Трач, 2016).

Для більшості металів, як зазначено в працях (Лопатько, Афтанділянц, Зазимко & Трач, 2016; Лопатько, 2015), в діапазоні напруги від 40 до 80 В та ємності конденсатора не вище 500 мкФ характерним є практично однакове співвідношення часток нано-, ультра- і мікророзмірної фракцій. Із збільшенням напруги зарядки конденсатора від 120 до 240 В і вище та ємності конденсатора понад 500 мкФ спостерігається суттєве зменшення ультрадисперсних частинок щодо частинок мікрофракції.

З огляду на перспективність електрофізичного способу оброблення для реалізації важливого для України концептуального підходу до організації ефективного перероблення сироватки молочної та відсутність даних щодо раціональних параметрів оброблення молочної сироватки, що сприятимуть домінуванню нано- та ультра розмірних частинок біологічно цінних металів, його впливу на склад і властивості сировини, актуальними є дослідження в цьому напрямі.

Мета дослідження: дослідити нанобіотехнологічні аспекти спрямованого збагачення сироватки молочної магній- і манганвмісними частинками та з'ясувати механізм їхнього утворення внаслідок електроіскрового диспергування шару струмопровідних гранул металів у середовищі молочної сироватки; вивчити вплив електроіскрового мінерального збагачення на склад і властивості молочної сироватки.

Матеріали і методи. Використано стандартизовані та спеціальні органолептичні, фізико-хімічні, фізичні, інструментальні (потенціометричні, хромато-маспектроскопічні, атомно-абсорбційна спектрометрія, електронна мікроскопія, енергодисперсійна спектрокопія, оптична емісійна спектрокопія, електрофорез) методи визначення дисперсних характеристик, морфології, елементного складу нано-, ультрарозмірних частинок і мікрофракції металів та показників якості сироватки молочної, обробленої електрофізичним методом. Для опрацювання експериментальних даних залучали математико-статистичні методи.

Електроіскровий спосіб оброблення молочної сироватки реалізовували на експериментальній установці, розробленій науковцями НУБіП України (рис. 1) та призначеній для електроіскрового диспергування струмопровідних гранул металів (заліза, міді, срібла, цинку, алюмінію, магнію, мангану тощо). Основним елементом лабораторного технологічного комплексу є генератор розрядних імпульсів (частота імпульсів 0,2...2,0 кГц; індуктивність розрядного контура 1 мкГ) із силовою частиною, побудованою на тиристорній елементній базі, а як накопичувач енергії використано конденсатор.

Гранули металу (магнію і/або мангану), що підлягали диспергуванню, розміщували на днищі розрядної камери (4) об'ємом до 1000 см³ між основними електродами, виготовленими з відповідного металу. Конструкція установки давала змогу послідовно обробляти молочну сироватку в кількох розрядних камерах, на дні яких розміщували магній і манган між відповідними електродами. Під час диспергування гранул магнію був задіяний ГРІ (1), подачу напруги на електродну

систему здійснювали за допомогою пульта керування (2), а при диспергуванні мангану — ГРІ (7) і пульт керування (8).

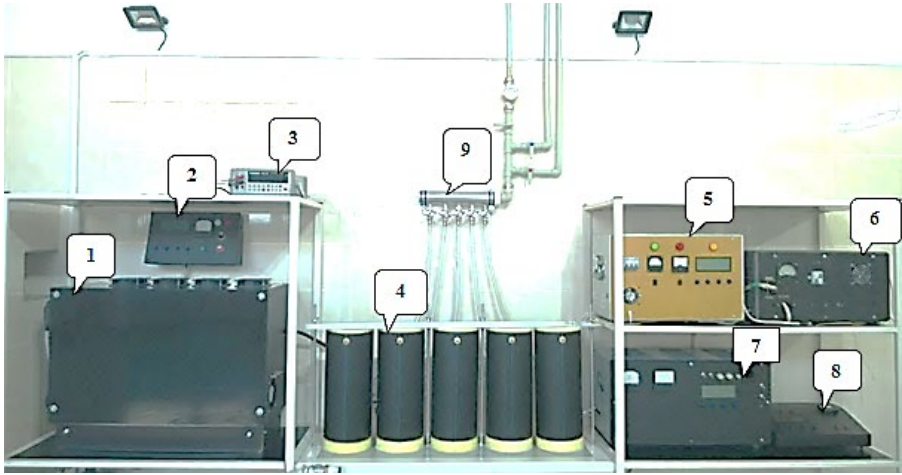


Рис. 1. Фотозображення експериментальної електроіскрової установки:

1, 5—7 — генератори розрядних імпульсів (ГРІ) для різних металів; 2 — пульт керування ГРІ (1); 3 — контрольно-вимірювальний прилад; 4 — розрядні реакційні камери зі струмопровідним шаром відповідних металів, 8 — пульт керування ГРІ (7); 9 — колектор для розподілу дейонізованої води або молочної сироватки між реакційними камерами

Сталі та варіативні характеристики розрядного контуру установки наведено у табл. 1.

Таблиця 1. Варіативні та сталі електричні параметри розрядного контуру

Найменування параметра розрядного контуру	Значення
Напруга зарядки конденсатора, В	від 40 до 120 з кроком 20
Ємність конденсатора, мкФ	від 50 до 200 з кроком 50
Індуктивність розрядного контуру, мкГн	близько 1
Кут фазовипрямляча, °	155
Скважність, %	4
Частота, Гц	100
Тривалість імпульсу, мкс	200
Проміжок між гранулами металів, мм	до 0,1

Технологічні параметри: експозиція — 30...180 с, температура середовища, що обробляється, залежала від поставленого дослідницького завдання і варіювалася від 20 до 80°C.

Викладення основних результатів дослідження. Існуючі відомості щодо перебігу електроіскрового процесу вказують на те, що механізм руйнування електродів і струмопровідних гранул та утворення наночастинок для різних металів має загальні закономірності (Лопатько, Афтандіянц, Веклич, Борецький & Сірик, 2013). Проте кожен метал має свої специфічні відмінності, що зумовлені передусім природою самого металу, його теплофізичними властивостями, відмінностями температур плавлення та випаровуванням тощо. Тому, маючи на меті

збагачення молочної сироватки частинками магнію і мангану переважно в нанорозмірному та ультрадисперсному діапазоні, перш за все визначали раціональні параметри розрядного контуру.

Оскільки біологічна доступність і технологічна ефективність мінеральних елементів тією чи іншою мірою залежить від розміру отриманих частинок, а домінування нанорозмірної фракції сприяє посиленню їхньої біологічної функціональності, важливо було підібрати й обґрунтувати раціональні параметри електроіскрового оброблення. Оскільки полідисперсність молочної сироватки може заважати об'єктивному оцінюванню розмірності одержаних частинок металів, тому на цьому етапі дослідження проводили на дейонізованій воді, що має низьку електропровідність і сприяє створенню оптимальних умов для електроіскрового диспергування гранул металів.

Математичним моделюванням за допомогою двофакторної нелінійної регресійної моделі Кобба-Дугласа та методу найменших квадратів для струмопровідних гранул мангану уточнено, а для гранул магнію встановлено раціональні значення впливових факторів електроіскрового диспергування, а саме: напруга 80...100 В та ємність конденсатора 100 мкФ, за яких досягається домінування нано- та ультрадисперсної фракції над мікрофракцією металовмісних частинок (рис. 2—3). Параметри оброблення, характерні для другого піку на отриманій 3D моделі, напруга 80...100 В та ємність конденсатора 200 мкФ було виключено з числа раціональних параметрів з огляду на зростання енерговитрат за досягнення майже того самого співвідношення нано-, ультра- та мікрофракції металовмісних частинок.

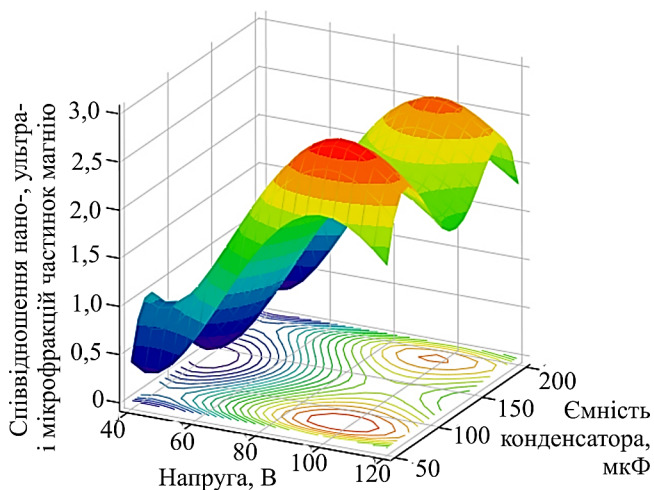


Рис. 2. Графічна 3D модель (а) та контури постійних значень (б) залежності співвідношення нано-, ультра- і мікрофракцій частинок магнію від напруги та ємності конденсатора

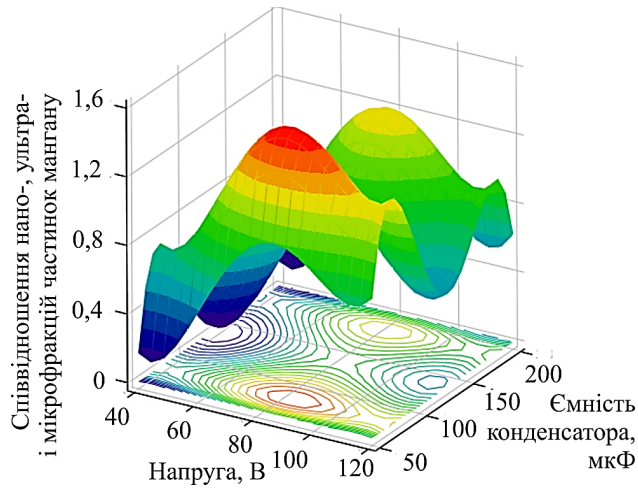


Рис. 3. Графічна 3D модель (а) та контури постійних значень (б) залежності співвідношення nano-, ультра- і мікрофракцій частинок мангану від напруги і ємності конденсатора

Дисперсний аналіз металовмісних частинок дав змогу встановити, що отримані колоїдні розчини магнію і мангану мали частинки в nano-, ультра- та мікророзмірному діапазонах від 50...70 нм до 7 мкм (рис. 4, а, б).

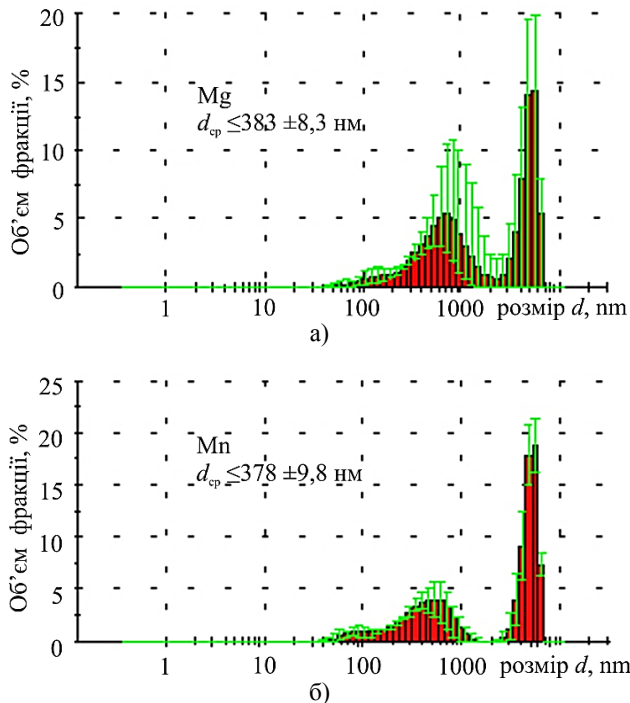
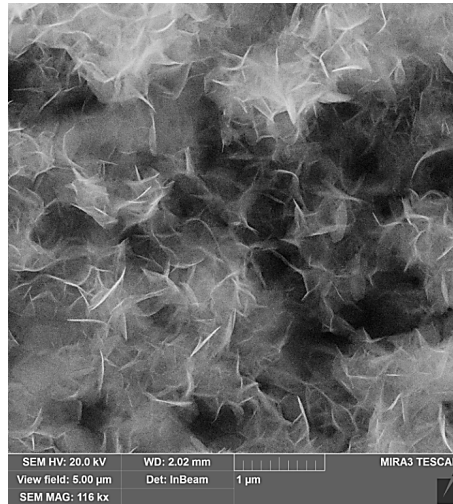
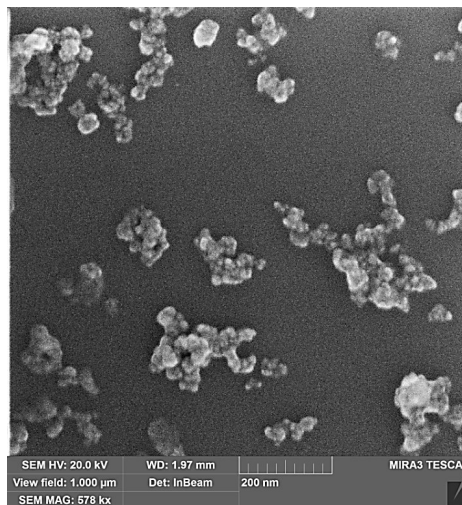


Рис. 4. Розподіл частинок магнію (а) і мангану (б) за розмірами

За допомогою скануючої електронної мікроскопії (SEM) в режимі InBeam і дослідженням морфології отриманих частинок та агрегатів магнію (рис. 5, а) і мангану (рис. 5, б) встановлено, що їхня форма характерна для кристалічних утворень. Проте кожен метал мав свої особливості, що пояснюються різницею теплофізичних характеристик. Так, частинки магнію були у вигляді голкоподібних кристалів, а мангану — мали сферичну форму.



а)

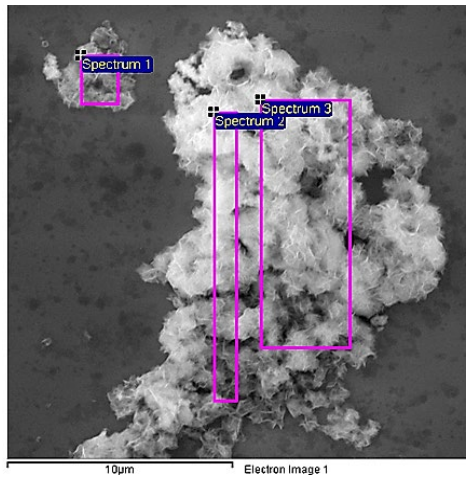


б)

Рис. 5. Морфологія частинок магнію (а) та мангану (б)

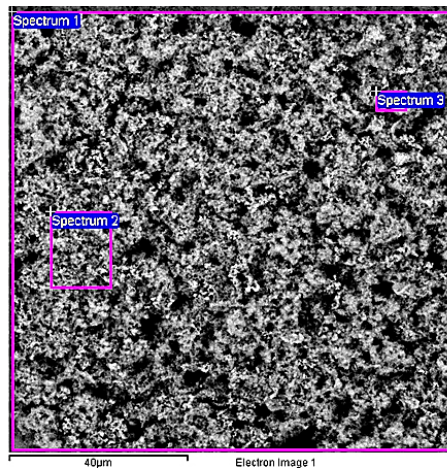
Далі проведено точковий аналіз мікроділянок, обраних на попередньо одержаному мікрображенні. За допомогою відповідного програмного забезпечення

для оброблення одержаних результатів SEM із енерго-дисперсійною спектроскопією (EDX) у досліджуваних колоїдних розчинах металів розрахували кількісний вміст магнію, мангану та кисню в масових відсотках (рис. 6—7). Результати дозволили зробити висновок про формування як оксидних, так і металевих фаз. Проте домінантною була оксидна фаза, а для мангану ще й діоксидна. Співвідношення металу (магній, манган) та кисню у перерахунку на елементний склад відповідало стехіометричному складу цих елементів у відповідних оксидних і діоксидних фазах MgO , MnO або MnO_2 . Слід відмітити практичне значення магній оксиду для технології сухих продуктів, як антизлежувальної речовини.



a)

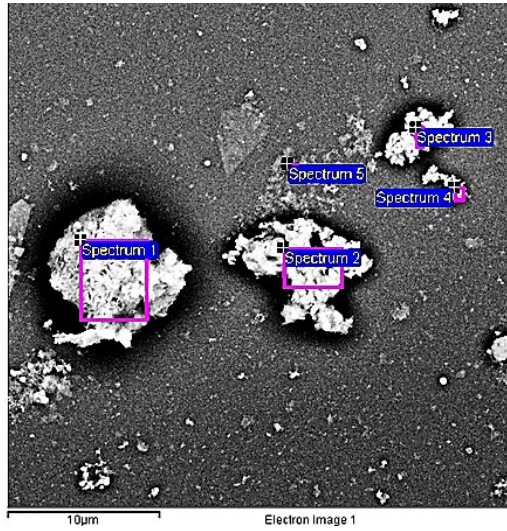
Mg = 32,22% мас. O = 67,78% мас.



б)

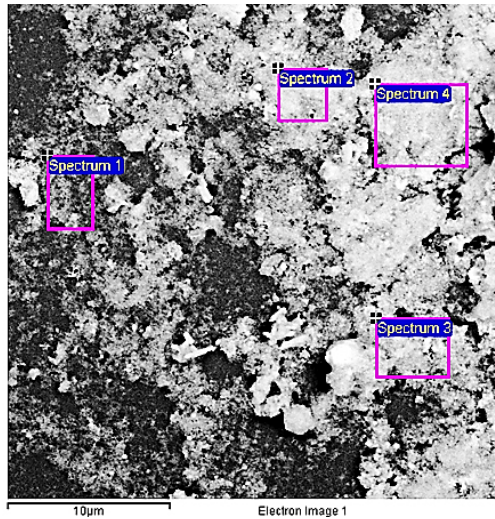
Mg = 43,46 % мас. O = 56,54 % мас.

Рис. 6. SEM-зображення і результати EDX-аналізу елементного складу магнієвмісних частинок та їхніх агрегатів у надосадовій рідині (а) й осаді (б)



a)

Mn = 60,49 % мас. O = 33,66 % мас.



б)

Mn = 30,43 % мас. O = 65,75 % мас.

Рис. 7. SEM-зображення і результати EDX-аналізу елементного складу манганвмісних частинок та їхніх агрегатів у надосадовій рідині (а) й осаді (б)

Оптичною емісійною спектроскопією встановлено, що, незважаючи на вищу електропровідність молочної сироватки ($5,85 \pm 0,12$ мСм/см) порівняно із дейонізованою водою ($0,001 \dots 0,003$ мСм/см), перебіг електроіскрового диспергування в обох рідинах був подібним. Хоча інтенсивність спектральних ліній, що випромінювалися магнієм і манганом, у сироватці молочної була дещо вищою. За методом діаграм Больцмана, на підставі отриманих спектрів випромінювання

електроіскрової плазми встановлено температуру в каналі розряду між гранулами магнію і мангану у воді та сироватці молочній (табл. 2).

Відмічено, що температура плазми між гранулами магнію вказує на створення умов для повної дисоціації водяної пари з утворенням молекул та йонів кисню і водню O_2 , H_2 , O^- , H^+ , OH^- . Вони, у свою чергу, можуть слугувати потенційними чинниками для часткового перетворення лактози й утворення оксиду магнію, тоді як за температури плазми до $4 \times 10^3 \dots 4,5 \times 10^3$ К, що наростає у зоні розрядів між гранулами мангану, водяна пара дисоціює не повністю. Це пояснює наявність нарівні з оксидною фазою мангану значної кількості металовмісних частинок у мікрофракції.

Таблиця 2. Температура плазми в каналі електроіскрового розряду між гранулами досліджуваних металів

Середовище	Метал гранул та електродів	Температура плазми, К
Дейонізована вода	Магній	$5,0 \dots 6,0 \times 10^3$
	Манган	$4,0 \dots 4,5 \times 10^3$
Сироватка підсирна	Магній	$5,0 \dots 5,5 \times 10^3$
	Манган	$3,0 \dots 4,0 \times 10^3$

Отримані дані поглибили знання щодо закономірностей і механізму утворення магніє- і манганвмісних частинок під час електроіскрового диспергування гранул відповідних металів у дейонізованій воді та були вперше адаптовані до нового об'єкта — молочної сироватки.

Враховуючи, що молочна сироватка, залежно від виду, характеризується різними значеннями електропровідності, для достовірного оцінювання характеру перебігу процесу та впливу на її склад і властивості об'єктами досліджень на цьому етапі було обрано сироватку з-під сиру кисломолочного ($6,11 \pm 0,31$ мСм/см), підсирну (ПС) ($5,85 \pm 0,12$ мСм/см), знесолену ($3,64 \pm 0,17$ мСм/см).

Встановлено, що за умови електроіскрового оброблення в усіх дослідних зразках молочної сироватки збільшувався вміст магнію в 1,8...4,1 раза, мангану — в 1,5...4,2 раза, залежно від тривалості оброблення. Тенденція до їхнього збільшення за зростання експозиції мала подібний характер для всіх досліджуваних видів сироватки молочної. В той же час спостерігалася відмінність між дослідними зразками, що проявлялася у різниці дисперсних характеристик отриманих частинок металів. Вона ставала більш помітною зі збільшенням тривалості оброблення. Так, у сироватці з-під сиру кисломолочного та підсирній вже через 120 с суттєво збільшувалася частка мікрофракції диспергованих частинок металів, особливо мангану, які були схильні до швидкого осадження, тоді як у знесоленій сироватці частка мікрофракції магнію і мангану була незначною. Така відмінність пояснюється різницею у значеннях електропровідності дослідних зразків молочної сироватки та її зростанням з часом оброблення. Отже, тривалість електроіскрового оброблення молочної сироватки та її електропровідність є важливими чинниками впливу на ступінь збагачення магніє- та манганвмісними частинками.

Встановлено, що під час електроіскрового оброблення молочної сироватки, незалежно від її виду, зростає показник рН зразків, причому цей ефект був виражений дещо сильніше за використання манганових електродів. Поясненням цьому факту може бути взаємодія металів з «кислою» складовою сироватки: молочною та лимонною кислотами та насичення металовмісними частинками.

За вимірними значеннями потенціалів платиного електроду є підстави констатувати, що в системі відбуваються відновні процеси, проте значення потенціалу за максимальної тривалості оброблення (180 с) не перевищувало окисно-відновний потенціал свіжого молока (250 мВ).

Виявлено зміни окисно-відновного потенціалу в обробленій сироватці з 5 мВ до 70...219 мВ, залежно від тривалості оброблення, виду молочної сироватки та електродної системи електророзрядної камери. Це засвідчило як проходження процесу насичення металовмісними частинками, так і комплексоутворення між йонами магнію, мангану і біолігандами сироватки молочної та, як наслідок, формування її цільових функціонально-технологічних властивостей.

Істотних відмінностей у фракційному складі досліджуваних зразків молочної сироватки не знайдено (Кочубей-Литвиненко, Білик, Дубівко, Висоцький & Швець, 2020). Так, аналіз фракції протеїнів у діапазоні молекулярних мас 14,2...18,4 кДа, що відповідають α -LA та β -LG, засвідчив зниження відносної кількості першого лише на 0,1...0,4 ум. од, другого — на 1,0...2,5 ум. од. Очевидно, це має зв'язок із незначною денатурацією в зоні електроіскрового розряду. Слід відмітити, що ступінь зниження цих протеїнів різнився залежно від виду МС, що можна пояснити сукупним впливом хімічного (рН) і фізичного (дія електроіскрових розрядів) денатуруючих факторів.

Перехід дестабілізованих сироваткових білків фракцій α -LA та β -LG з розчинного у нерозчинний стан, як відомо, може супроводжуватися агрегуванням між собою та міцелами казеїнаткальційфосфатного комплексу. Результати аналізу фракції у діапазоні молекулярних мас 28,0...30 кДа підтверджують можливий перебіг таких подій, що засвідчує незначне зростання сумарної умовної кількості ізоформ казеїну після електроіскрового оброблення. Найбільше зростання (на 1,0 ум. од) спостерігалось в сироватці з-під сиру кисломолочного після оброблення в електророзрядній камері з магнієвою електродною системою, що пояснюється формуванням додаткових магнієвих містків для комплексоутворення.

У дослідних зразках сироватки молочної після електроіскрового оброблення спостерігається зростання фракцій протеїнів у діапазонах 56,0...90,0 кДа та 150 кДа. Проте, подібно до попередніх фракцій, зміни були незначні.

Хромато-мас-спектроскопічними дослідженнями доведено часткове окиснення лактози у лактобіонову кислоту (від 0,2% до 1,7%, залежно від параметрів оброблення) під час електроіскрового оброблення сироватки молочної, розкрито механізм й обґрунтовано чинники окиснення, а саме: підвищення температури в плазмовому каналі; дисоціація водяної пари, одним із продуктів якої є атомарний кисень; насичення реакційного середовища металовмісними частинками та сполуками металів із каталітичними властивостями (Kochubei-Lytvynenko, 2018).

Висновки

Проведені дослідження розширили відомості про закономірності і механізм утворення магніє- та манганвмісних частинок у нано-, ультра- та мікророзмірному діапазоні під час електроіскрового диспергування струмопровідного шару гранул відповідних металів у дейонізованій воді, які вперше було адаптовано до нового об'єкта — сироватки молочної.

Для гранул мангану уточнено, а для магнію встановлено раціональні значення впливових факторів електроіскрового диспергування, а саме: напруги (80...100 В) та ємності конденсатора (100 мкФ), за яких досягається домінування нанорозмірної та ультрадисперсної фракції над мікрофракцією металовмісних частинок.

Набули подальшого розвитку експериментальні дослідження дисперсних характеристик, морфології й елементного складу магніє- і манганвмісних частинок, отриманих електроіскровим диспергуванням гранул металів у дейонізованій воді. Отримано нові дані щодо формування оксидних, діоксидних і металевих фаз металів.

Вивчено закономірності процесу збагачення молочної сироватки магнієм (1,8...4,1 раза) і манганом (1,5...4,2 раза) унаслідок електроіскрового диспергування струмопровідних гранул відповідних металів, залежно від тривалості оброблення (30...180 с).

Доведено відсутність негативного впливу на склад і властивості сироватки молочної. Розкрито потенціал для формування в ній цільових функціонально-технологічних властивостей.

Література

- Скальный, А. В., Рудаков, И. А. (2004). *Биоэлементы в медицине*. Москва: Издательский дом «Оникс 21 век».
- Спиричев, В. Б., Шатнюк, Л. Н., Позняковский, В. М. (2005). *Обогащение пищевых продуктов витаминами и минеральными веществами. Наука и технология*. Новосибирск: Сиб. универ. изд-во.
- Храмцов, А. Г. (2001) *Феномен молочной сыворотки*. Санкт-Петербург: Профессия.
- Chen, G. Q., Eschbach, F. I. I., Weeks, M., Gras, S. L., Kentish, S. E. (2016). Removal of lactic acid from acid whey using electrodialysis. *Separation and purification technology*, 158, 230—237.
- Гондарь, О. П. Романчук, И. О., Минорова, А. В. (2015). Переработка кислой сыворотки с применением комплекса мембранных методов. *Пищевая промышленность: наука и технологии*, 4, 85—88.
- Kurychuk, I., Zmievskii, Yu., Myronchuk, V. (2014). Treatment of dairy effluent model solutions by nanofiltration and reverse osmosis. *Ukrainian Food Journal*, 3(2), 280—287.
- Змієвський, Ю. Г. (2017) Дослідження процесу нанофільтрації молочної сироватки. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*, 23(2), 123—130.
- Шипулин, В. И., Стрельченко, А. Д., Фисенко, Д. Г. (2012). Использование сухой деминерализованной и изомеризованной молочной сыворотки в технологии колбасных изделий. *Пищевая индустрия*, 3(12), 65—66.
- Stehlik-Tomas, V., Zetic, V. G., Stanzer, D., Grba, S., Vahcic, N., Zinc (2004). Copper and Manganese Enrichment in Yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Food Technology and Biotechnology*, 42(2), 115—120.

- Пономарева, О. И., Черныш, В. Г., Прохорчик, И. П. (2001). Влияние условий культивирования на выход и качество хлебопекарных дрожжей. *Научный журнал НМУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств»*, 1, 28—38.
- Walker, G. M. (1994). The Roles of Magnesium in Biotechnology. *Critical Reviews in Biotechnology*, 14(4), 311—354.
- Birch, R. M. Ciani, M., Walker, G. M. (2003). Magnesium, Calcium and Fermentative Metabolism in Wine Yeasts. *Journal of Wine Research*, 14(1), 3—15.
- Pironcheva, G. L. (1998). The Effect of Magnesium Ions during Beer Fermentation. *Cytobios*, 94(377), 135—139.
- Беспоместных, К. В. (2014). Изучение влияния состава питательной среды на изменение биохимических и морфологических свойств штаммов лактобацилл. *Современные проблемы науки и образования*, 6.
- Лопатько, К. Г., Афтандіянц, С. Г., Зазимко, О. В., Трач, В. В. (2016). *Фізика, синтез та біологічна функціональність нанорозмірних об'єктів: монографія*. Київ: Вид-во НУБіП України.
- Верхотуров, А. Д., Подчерняева, И. А., Коневцов, Л.А. (2010). Самсонов Г. В. и Лазаренко Б. Р. — основатели нового научного направления «Материаловедение электродных материалов для электроэрозионной обработки». *Электрические контакты и электроды*, 274—287.
- Золотых, Б. Н. (2003). Об открытии и развитии электроэрозионной обработки материалов: к 60-летию открытия способа. *Электронная обработка материалов*, 3, 4—9.
- Бабич, И. Л. та ін. (2010). Спектроскопия плазмы электродугового разряда между композиционными электродами Ag-CuO. *Электрические контакты и электроды*, 10, 82—115.
- Щерба, А. А., Захарченко, С. Н., Лопатько, К. Г., Шевченко, Н. И., Ломко, Н. А. (2010). Разрядно-импульсные системы производства нанокolloидных растворов биологически активных металлов методом объемного электроискрового диспергирования. *Праці інституту електродинаміки НАН України*, 26, 152—160.
- Лопатько, К. Г. (2015). Обгрунтування фізико-технологічних основ біологічної функціональності наночастинок металів (Автореф. дис. д-ра техн. наук). Національний університет біоресурсів та природокористування України.
- Байрамов, Р. К. (2012). *Получение высокодисперсных порошков металов и их соединений электроискровым диспергированием металлов: монография*. Москва: Изд-во Дом МИСиС.
- Лопатько, К. Г., Афтандіянц, С. Г., Веклич, А. М., Борецький, В. Ф., Сірик, О. О. (2013). Синтез металевих наночастинок в плазмі електричного розряду у воді. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія: Фізико-математичні науки*, 1, 261—268.
- Кочубей-Литвиненко, О. В., Білик, О. А., Дубівко, А. С., Висоцький, О. О., Швець, Д. П. (2020). Дослідження впливу електроіскрового оброблення на білки молочної сироватки. *Наукові праці НУХТ*, 26(6), 182—189.
- Kochubei-Lytyvnenko, O. (2018). The effect of electrical discharge treatment of milk whey on partial conversion of lactose into lactobionic acid. *Food Science and Technology*, 12(3), 40—49.

INCREASING THE NUTRITIONAL VALUE OF PASTA BY USING LEGUMINOUS CROPS

E. Beraliyeva, S. Kozykan

Kazakh National Agrarian University, Almaty, Kazakhstan

M. Paska, N. Pavlenchuk

Lviv State University of Physical Culture

Key words:

*Pasta,
Dietary supplements,
Nutritional value,
Leguminous crops*

Article history:

Received 30.09.2021
Received in revised form
11.10.2021
Accepted 25.10.2021

Corresponding author:

M. Paska

E-mail:

maria_pas@ukr.net

ABSTRACT

Ways to increase the nutritional value of pasta made from legume flour are discussed in the article. The technology of high nutritional value pasta in terms of protein, vitamins and minerals was developed. The developed technology allows to increase the biological value of the product and meets the goals in the field of healthy eating. All this confirms the relevance of the chosen topic, which is associated with the constant growth of consumer demand for pasta.

The aim of the work was to improve the technology of pasta by adding legumes, as well as determining the chemical composition of pasta and the amino acid composition of pasta.

Modern functional ingredients, such as chickpea and pea flour, were used to implement the tasks. The results of the research are presented in the form of research based on the advanced technology of high nutritional value pasta development.

The optimal amount for the replacement of flour was determined: 7.5% chickpea and 5% pea flour, as the means of pasta enrichment. Analysis of the chemical composition of pasta indicated an increase in protein content in the by 8.8%, in 3 by 8.35%, compared to the control in the first sample; fat content — by 2.8; 1.4% respectively, and the ash content — by 22.8; 17.1% compared to control (first sample). There was also an increase in iron and calcium, β -carotene, vitamin E content.

Analyzing the amino acid composition of pasta, an increase in the essential acids: lysine, methionine, tryptophan, threonine, valine, leucine, isoleucine compared to the control sample without legumes was observed. A similar trend was observed when examining substituted amino acids:

It was proved that the use of legumes in the technology of pasta helps to increase the nutritional and biological value in terms of protein, vitamins and minerals. The application of the results will be reflected in the development of the new type of high nutritional value pasta.

ПІДВИЩЕННЯ ХАРЧОВОЇ ЦІННОСТІ МАКАРОННИХ ВИРОБІВ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ЗЕРНОБОБОВИХ КУЛЬТУР

Е. Б. Бералієва, С. Козикан

Казахський національний аграрний університет, Алма-Ата, Казахстан

М. З. Паска, Н. Ф. Павленчик

Львівський державний університет фізичної культури імені Івана Боберського

У статті розглянуто шляхи підвищення харчової цінності макаронних виробів із борошном зернобобових культур. Розроблено технологію макаронних виробів підвищеної харчової цінності за вмістом білка, вітамінів та мінеральних речовин. Розроблена технологія дає змогу збільшити біологічну цінність продукту та відповідає меті здорового харчування. Все це підтверджує актуальність обраної теми, яка пов'язана з постійним, стабільним зростанням попиту споживачів на макаронну продукцію та забезпеченням населення повноцінними продуктами харчування.

Мета дослідження полягає в удосконаленні технології макаронних виробів шляхом збагачення їх зернобобовими культурами, а також визначенні хімічного складу макаронних виробів та амінокислотного складу макаронних виробів..

Для реалізації поставлених завдань застосовували сучасні функціональні інгредієнти, такі як борошно нуту та гороху. Визначено оптимальну кількість на заміну борошна: 7,5% нутового і 5% горохового борошна як збагачувачів макаронних виробів. Аналіз хімічного складу макаронних виробів вказує на збільшення вмісту білка в першому зразку на 8,8%, у другому — на 8,35%, вмісту жиру, відповідно, на 2,8; 1,4%, вмісту золи — 22,8; 17,1% порівняно з контролем. Також спостерігається підвищення вмісту заліза та кальцію, β -каротину, вітаміну Е.

Аналізуючи амінокислотний склад макаронних виробів, спостерігаємо підвищення незамінних кислот лізину, метіоніну, триптофану, треоніну, валіну, ізолейцину, лейцину порівняно з контролем. Доведено, що використання зернобобових культур у технології макаронних виробів сприяє підвищенню харчової та біологічної цінності за вмістом білка, вітамінів та мінералів. Результати досліджень буде впроваджено у розробці нового виду макаронних виробів підвищеної біологічної цінності.

Ключові слова: макаронні вироби, функціональні інгредієнти, харчова цінність, зернобобові культури.

Problem definition and its relationship with important practical tasks. In modern world the problem of providing the population with high-quality products is the most urgent. Food industry needs development of new products, the consumption of which will provide the population with vitamins, mineral substances and dietary fiber, which will promote public health. The most economically beneficial way is enrichment of mass consumption products which include flour confectionery.

In order to meet the demand, legumes and products of the flour processing industry — flour from chickpeas, peas, beans, wheat germ flakes and bran, are used, as they contain a significant amount of essential proteins, amino acids, polyunsaturated fatty acids, vitamins B, PP, E, minerals — calcium, magnesium, phosphorus, iron, food fibers, and have a low cost.

Analysis of recent studies and publications related to subject matter of the manuscript. Grain legumes are more beneficial than cereal grains in term of human health, being a rich source of nutrients. The risk of type-2 diabetes and cardiovascular diseases decreases with consumption of legumes (Jayathilake, 2018), while another positive effect include a reduction in the relative risk of developing myocardial infarction (Miller, 2017). The presence of fiber and phytochemicals in legumes lowers cholesterol and helps to regulate blood pressure (Bazzano, 2011). Moreover, the consumption of legumes improves health and assists in weight maintenance (McCrory, 2010). Legumes are also source of anti-cancer peptides which can potentially assist in the prevention of prostate and colorectal cancers (Luna-Vital & González de Mejía, 2018).

The feasibility of using pea fiber in the production of rye-wheat bread by accelerated technology was substantiated (Сильчук, Назар, Карпенко & Доценко, 2015). The influence of fiber on chemical processes in the dough, which characterize the balance of changes in sugars during dough preparation and gas-forming ability of the dough during fermentation, was studied. The content of sugars in finished products was analyzed. It was established that the introduction of pea fiber intensifies the technological process of bread production.

It is possible to make dietary and healthy pasta by introducing additives such pea meal and gram flour. The advantages of plant-based additives include their complex composition, the balance of individual components, and the presence of compounds in the most physiologically digestible forms (Матвеева, 2012).

Problem statement (statement of purpose of the manuscript). The objective of the research was studying the impact of leguminous crops' flour on the biological and nutrition values of pasta.

Comparative analysis on the composition of three types of flour, particularly, pea meal, gram flour and first-grade wheat flour, showed that there were significant differences in their protein, essential amino acids, vitamins, and macro and micro nutrients content.

The protein content of pea meal and gram flour was 1.87, which is 2.26 times higher than that of wheat flour. Flour from leguminous crops was not only richer in amino acids, but also in essential amino acids as lysine and methionine. The content of lysine in pea meal and gram flour was 5.7 and 6.36 times higher than in first-grade wheat flour, and the content of methionine was 2.09 and 1.77 times higher. These type of flour from leguminous crops are rich in minerals (calcium, iron) and vitamins (vitamin E, β — carotene) (Пашенко & Курчаева, 2004).

Materials and methods. Investigation of the chemical composition of leguminous flour and the effect of chickpea and pea flour on gluten and physical properties of the dough, on the quality and nutritional value of finished products in accordance with GOST.

In this regard, a research was conducted on the nutritional and biological value of pasta from first-grade wheat flour with the addition of 7.5% of gram flour (Sample 1)

and 5% of pea flour (Sample 2). Pasta without any additives was the control sample **Presentation of the main material.** As the results of the study of the chemical composition of pea meal and gram flour meal, as well as their effect on the properties of gluten, on the physical properties of the dough, and on the quality of the finished products, the optimal dosages were suggested: to replace flour 7.5% of gram flour and 5% of pea meal as pasta fortifier.

In this regard, a research was conducted on the nutritional and biological value of pasta from first-grade wheat flour with the addition of 7.5% of gram flour (Sample 1) and 5% of pea flour (Sample 2). The chemical composition of pasta is shown in Table 1.

Table 1. Chemical composition of pasta

Indicators	Content per 100 grams of product		
	Control sample	Sample 1	Sample 2
Moisture content, %	13.0	13.0	13.0
Proteins, %	11.01	11.98	11.93
Fats, %	1.42	1.46	1.42
Carbohydrates, %	68.8	67.25	67.03
Fiber, %	0.20	1.20	1.13
Ash, %	0.70	0.86	0.82
Minerals, mg			
Ca	30 ± 6.4	39.0 ± 7.5	33 ± 6.4
Mg	42.0 ± 9.0	44 ± 9.1	40 ± 8.0
Fe	2.5 ± 0.5	2.62 ± 0.52	3.18 ± 0.60
Vitamins, β-carotene, mg	12.1	16.59	13.74
E	1.79	1.96	1.87
PP	2.23	2.24	2.15
Energy value, kcal	352	358	354

The results of the research analysis showed that the content of protein, vitamins and minerals in pasta products using legume flour increased. Thus, in comparison with control sample, the protein content in Sample 1 increased by 8.8%, while, in the Sample 2 — by 8.35%. The fat content increased by 2.8 and 1.4%, the ash content increased by 22.8 and 17.1% respectively.

Using flour from legumes in pasta dough the content of such elements as calcium and iron in ready-made pasta products increased. It was found that, in comparison with the control sample, the calcium content increased by 30% in Sample 1 and by 10% in Sample 2. The iron content increased by 4.8% and 27.2 % respectively.

It is seen from Table 1 that vitamin content of pasta products with gram flour and pea flour increased. In comparison with the control sample, the content of β-carotene (in Sample 1) increased by 37.1% and (in Sample 2) — by 13.5%. The content of vitamin E increased by 9.5% and 4.5%, respectively.

The composition of amino acids in flour, as well as in pasta made from this flour, determines the protein value of the final product. In this case, essential amino acids (isoleucine, leucine, lysine, methionine, phenylalanine, tryptophan, threonine and valine) are of a particular value, as they cannot be synthesized in humans body. Lysine is one of the most important amino acids among other essential ones.

The results of the study of the content of amino acids in pasta from legumes' flour (Table 2) show that, in comparison with the control sample, the content of lysine in Sample 1 and Sample 2 increased 1.33 and 1.36 times. Compared to the control sample,

the content of methionine in pasta products with gram and pea flour was 1.05 times and 1.02 times higher. The content of following amino acids was higher in pasta products with gram and pea flour: threonine — 1.17 and 1.2 times; tryptophan — 1.17 and 1.13 times; valine — 1.1 and 1.1 times; isoleucine — 1.27 and 1.17 times; leucine — 1.05 and 1.06 times.

Similar data were obtained for nonessential amino acids. The content of alanine increased 1.08 times in the Sample 1 and 1.13 times in Sample 2 in comparison with the control sample. The same change was observed for other nonessential amino acids: arginine content increased 1.35 and 1.3 times, respectively.

Table 2. Amino Acid composition of pasta products

Amino acids	Content per 100 grams of product		
	Control sample	Sample 1	Sample 2
Essential amino acids, mg			
Total amount	3488	3904	3949
Valine	550	582	589
Isoleucine	502	637	585
Leucine	941	982	996
Lysine	292	338	397
Methionine	179	187	183
Threonine	323	380	390
Phenylalanine	584	661	677
Tryptophan	117	137	132
Nonessential amino acids, mg			
Total amount	7730	8701	8004
Alanine	386	415	436
Arginine	467	631	609
Aspartic acid	397	564	584
Histidin	233	287	258
Glycine	409	439	454
Glutamic acid	3596	3383	3438
Prolin	1133	1847	1109
Serine	584	530	522
Tyrosine	292	342	341
Cystinum	233	263	253
Total amount of amino acids, mg	11218	12605	11953

The content of aspartic acid increased 1.42 and 1.47 times; histidine — 1.23 and 1.1 times; and glycine — 1.1 and 1.1, 11 times.

Conclusions

Thus, the analysis of the presented data showed that the use of flour from legumes is an appropriate way for enriching pasta such as proteins, essential amino acids, vitamins and minerals. The application of the results will be reflected in the development of the new type of pasta of high nutritional value.

References

Матвеева, Т. В. (2012) *Физиологически функциональные пищевые ингредиенты для хлебобулочных и кондитерских изделий*: монография. Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет. УНПК».

Пашенко, Л. П., & Курчаева, Е. Е. (2004). Некоторые сведения о нуте и применении его в продуктах питания. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 4, 59—60.

Сильчук, Т. А., Назар, М. І., Карпенко, Т. С., Доценко, В. Ф. (2015). Дослідження впливу клітковини гороху на біохімічні процеси в тісті. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*, 21(2), 211—216.

Bazzano, D. M. (2011). Winham Non-soy legume consumption lowers cholesterol levels: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 21(2), 94—103. <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2009.08.012>.

Jayathilake, R. (2018). Liyanage Cowpea: an overview on its nutritional facts and health benefits *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(13), 4793—4806. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9074>.

Luna-Vital, E., González de Mejía (2018). Peptides from legumes with antigastrointestinal cancer potential: current evidence for their molecular mechanisms. *Current Opinion in Food Science*, 20, 13—18. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.02.012>.

McCrary, M. A., Eichelsdoerfer, P. E. (2010). Pulse Consumption, Satiety, and Weight. *Management Advances in Nutrition*, 1(1), 17—30. <https://doi.org/10.3945/an.110.1006>.

Miller, R. (2017). Fruit, vegetable, and legume intake, and cardiovascular disease and deaths in 18 countries (PURE): a prospective cohort study. *The Lancet*, 390, 2037—2049. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)32253-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32253-5).

EFFECT OF ROSEHIP MEAL AND OAT GERM MEAL ON CHANGE OF QUALITY INDICES OF RYE-WHEAT BREAD DURING STORAGE

S. Oliinyk, O. Samokhvalova

State Biotechnological University

N. Lapitskaya

Taras Shevchenko National University "Chernihiv Collegium"

Key words:

*Rye-wheat bread
Oat germ meal
Rosehips meal
Bread storage
Bread staling
Dietary fiber
Ascorbic acid
Structural-mechanical properties
Physical-chemical properties*

Article history:

Received 04.10.2021
Received in revised form
13.10.2021
Accepted 25.10.2021

Corresponding author:

S. Oliinyk
E-mail:
svitlana.oliinyk@gmail.com

ABSTRACT

The article presents the results of the study of the effect of joint application of by-products of oil production — oat germ meal (OGM) and rosehip meal (RM) on the change of physicochemical and structural-mechanical properties of rye-wheat bread during storage. OGM and RM are sources of dietary fiber (28.8% and 60.4%, respectively). In addition, OGM contains a significant amount of biologically valuable protein (23.0%), and RM contains ascorbic acid (47 mg / 100 g), which is a baking oxidizer. Meals of oat germ and rosehip were added in the amount of 16.0% and 4.2% of the total weight of flour. The storage time of rye-wheat bread was 72 h.

It was found that the higher moisture content of the dough from OGM and RM and the significant content of highly hydrophilic dietary fiber and protein (in OGM) contributes to the fact that the products lose less moisture during storage. It was shown that the rye-wheat bread with meals slows down the hydrophilic properties and to a lesser extent increases the crumbliness during 72 h of storage.

The results of measuring the compressibility of rye-wheat bread crumbs showed that the joint addition of meal helps to improve its structure. During the experiment, the compressibility of the crumb of the test sample decreases more slowly compared to the control one. As a result, this indicator in bread with OGM and RM after 72 h of storage was higher than in the control sample after 48 h. This is due to the number of factors, including the strengthening of wheat flour gluten under the action of ascorbic acid contained in RM, slowing down the retrogradation of starch with the help of meals hemicelluloses. In addition, bread with meals contains more protein, which denatures much more slowly than starch ages.

The obtained results confirm the prospects of using oat germ meal and rosehip meal in rye-wheat bread technologies with extended shelf life.

ВПЛИВ ШРОТІВ ЗАРОДКІВ ВІВСА І ПЛОДІВ ШИПШИНИ НА ЗМІНУ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЖИТНЬО-ПШЕНИЧНОГО ХЛІБА ПІД ЧАС ЗБЕРІГАННЯ

С. Г. Олійник, О. В. Самохвалова

Державний біотехнологічний університет

Н. В. Лапицька

Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т. Г. Шевченка

У статті представлені результати дослідження впливу сумісного внесення побічних продуктів олійного виробництва — шроту зародків вівса (ШЗВ) і шроту плодів шипшини (ШПШ) на зміну фізико-хімічних і структурно-механічних властивостей хліба житньо-пшеничного протягом зберігання. ШЗВ та ШПШ є джерелами харчових волокон (28,8 та 60,4% відповідно). Крім того, ШЗВ містить значну кількість біологічно цінного білка (23,0%), а ШПШ має у своєму складі аскорбінову кислоту (47 мг / 100 г), яка є хлібопекарським поліпшувачем окисної дії. Шроти зародків вівса та плодів шипшини додавали у кількості 16,0% і 4,2% від загальної маси борошна. Тривалість зберігання хліба житньо-пшеничного хліба складала 72 год.

Встановлено, що вища вологість тіста з ШЗВ та ШПШ і значний вміст у них високогідрофільних харчових волокон і білка (у ШЗВ) сприяють меншим втратам виробами вологи під час зберігання. Показано, що в житньо-пшеничному хлібі зі шротами протягом 72 год зберігання повільніше знижуються гідрофільні властивості та меншою мірою підвищується кришкуватість.

Результати визначення показника стискуваності м'якушки житньо-пшеничного хліба свідчать, що сумісне додавання шротів сприяє покращенню його структури. Протягом експерименту стискуваність м'якушки дослідного зразка порівняно з контрольним знижується повільніше. В результаті цей показник у хліба з ШЗВ та ШПШ через 72 год зберігання був вищим, ніж у контрольного через 48 год. Це пов'язано з низкою чинників, серед яких укріплення клейковини пшеничного борошна під дією аскорбінової кислоти, що міститься у ШПШ, уповільнення ретроградації крохмалю за участі геміцелюлоз шротів. Також у хлібі зі шротами підвищується вміст білка, денатураційні зміни якого відбуваються значно повільніше, ніж ретроградація крохмалю.

Отримані результати підтверджують перспективи використання шротів зародків вівса та плодів шипшини в технологіях хліба житньо-пшеничного подовженого терміну зберігання.

Ключові слова: *житньо-пшеничний хліб, шрот зародків вівса, шрот плодів шипшини, зберігання хліба, черствіння хліба, харчові волокна, аскорбінова кислота, структурно-механічні властивості, фізико-хімічні властивості.*

Постановка проблеми. Стрімке поширення в світі глобального тренду «здорового способу життя» сприяє підвищенню попиту на хлібобулочну продукцію оздоровчого призначення. У широкому асортименті хлібних виробів, що виробляються в Україні, особливе місце посідає хліб із суміші житнього та пшеничного

борошна, тому цілеспрямоване підвищення його харчової цінності є актуальним завданням. Для вирішення цього завдання обґрунтованим є науковий підхід, що полягає в застосуванні для збагачення хліба натуральної сировини з високим вмістом фізіологічно-функціональних інгредієнтів.

Останнім часом в оздоровчому харчуванні зростає значення олій, отриманих з нетрадиційної сировини, такої як зародки зернових культур, насіння плодів шипшини, кісточок винограду тощо, що спричиняє активний розвиток їх виробництва (Прохорчук, 2019; Кобець, Арпуль & Доценко, 2016). Після отримання таких олій у значних кількостях накопичуються побічні продукти — макухи та шроти, що містять цінні біологічно активні речовини і є перспективними для використання як збагачувальної сировини для хлібобулочних виробів. Серед них привертають увагу шроти зародків вівса та плодів шипшини як джерело харчових волокон, вітамінів, мінеральних речовин тощо.

Використання збагачувальної сировини не тільки сприяє підвищенню харчової цінності хліба, але й може впливати на формування його споживчих властивостей, які значною мірою зумовлюються терміном збереження свіжості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо, що протягом зберігання хліба відбувається його черствіння та усихання, що супроводжуються зниженням вологості, а також зменшенням еластичності та підвищенням жорсткості м'якушки (Дробот, 2002). Ці зміни зумовлюються складним комплексом процесів ретроградації крохмалю, денатурації білка, зміною форм зв'язку і перерозподілу вологи між ними, а також тепло- і масообмінними процесами між скоринкою, м'якушкою та зовнішнім середовищем (Willhoft, 2007). Інтенсивність цих процесів значною мірою залежить від хімічного складу та функціонально-технологічних властивостей рецептурних компонентів.

Як свідчать дані літературних джерел, ефективним шляхом уповільнення процесів усихання та черствіння хліба є внесення в рецептуру вторинної рослинної сировини з високим вмістом високогідрофільних біополімерів.

У праці (Сильчук, Голікова & Назар, 2016) показано, що заміна в рецептурі житньо-пшеничного хліба 3...7% пшеничного борошна на клітковину картоплі або гороху з високим вмістом харчових волокон поліпшує структурно-механічні і гідрофільні властивості м'якушки, що сприяє подовженню терміну зберігання виробів.

Подовження терміну збереження свіжості пшеничним хлібом за рахунок внесення вологоутримувальної сировини, зокрема квасолевого порошку у складі комплексного хлібопекарського поліпшувача, було доведено у праці (Білик, Халікова, Грегірчак & Маринін, 2015). Дослідниками встановлено підвищення у дослідних виробках кількості осмотично зв'язаної води, а також менш інтенсивне зниження в них протягом 72 год зберігання таких індикаторів черствіння хліба, як показники деформації, кришкуватість і набрякання м'якушки.

Аналогічний ефект уповільнення черствіння хліба продемонстровано під час дослідження впливу на ці процеси пшеничних висівок (Curti, Carini, Tribuzio & Vittadini, 2015), високобілкового борошна з ріпакової макухи, а також шротів насіння льону, ядра горіха, насіння гарбуза та насіння кунжуту (Дробот, Михонік, Семенова & Фалендиш, 2018) та конопляної макухи (Роїч, Hadnadev, Hadnadev, Rakita & Brlek, 2015).

Шроти зародків вівса (ШЗВ) та плодів шипшини (ШПШ) є побічними продуктами в технології вівсяної та шипшинової олій. Вони містять значну кількість

харчових волокон (28,8 та 60,4% відповідно), вітаміни Е, РР, групи В, поліфеноли, мінеральні речовини. Крім того, ШЗВ містить значну кількість біологічно цінного білка (23,0%), а ШПШ має у своєму складі аскорбінову кислоту (47 мг / 100 г), яка є хлібопекарським поліпшувачем окисної дії. Раніше встановлено, що додавання 10...20% ШЗВ та 2...6% ШПШ від загальної маси борошна під час виробництва житньо-пшеничного хліба, поряд із збагаченням його фізіологічно-функціональними інгредієнтами, приводить до покращення еластичності, пористості, питомого об'єму та формостійкості готових виробів. Це зумовлюється збільшенням пружно-еластичних властивостей і газотримувальної здатності тіста за рахунок укріплення клейковини, а також покращенням його розпушеності у результаті інтенсифікації мікробіологічних та біохімічних процесів у присутності ШЗВ та ШПШ (Oliinyk, Samokhvalova, Lapitska & Kucheruk, 2020; Олійник, Самохвалова & Лапицька, 2019). Отже, можна передбачити вплив дослідних шротів на процеси, що спричиняють зміни показників якості хліба під час зберігання.

Мета дослідження: вивчення впливу сумісного використання шроту зародків вівса та шроту плодів шипшини на процеси, що відбуваються в житньо-пшеничному хлібі під час зберігання.

Для досягнення поставленої мети сформульовано такі завдання:

- вивчити вплив сумісного використання шротів зародків вівса та плодів шипшини на фізико-хімічні властивості м'якушки житньо-пшеничного хліба під час зберігання;

- дослідити зміну структурно-механічних властивостей житньо-пшеничного хліба у присутності шротів зародків вівса та плодів шипшини в процесі зберігання.

Матеріали і методи. У дослідженнях використовували борошно житнє обдирне (ДСТУ 8891-2018), борошно пшеничне 1 сорту (ГСТУ 46004-99), хлібопекарські пресовані дріжджі (ДСТУ 4812-2007), сіль кухонну харчову (ДСТУ 3583-2015), питну воду (ДСТУ 7525-2014), суху житню закваску «Sapora Othello» (Puratos Group, Бельгія), шроти зародків вівса та плодів шипшини (ТУ У 15.8-32062796-003:2008, виробник НВ ТОВ «Житомирбіопродукт», Україна).

Контрольний зразок хліба виготовляли однофазним способом із суміші житнього обдирного та пшеничного борошна першого сорту (у співвідношенні 50:50) з додаванням 2,5% сухої житньої закваски «Sapora Othello» (Puratos Group, Бельгія), 2,0% хлібопекарських пресованих дріжджів, 1,5% кухонної солі. Під час замішування дослідних зразків тіста сумісно додавали шроти зародків вівса та плодів шипшини у визначених раніше оптимальних кількостях, які склали 16,0 та 4,2% від загальної маси житнього та пшеничного борошна відповідно (Черевко та ін., 2021). Вологість тіста складала 48,7%. Дозрівання всіх зразків тіста здійснювали протягом 90 хв за температури $30 \pm 2^\circ\text{C}$, після чого формували, вистояли та випікали тістові заготовки за температури $210 \pm 10^\circ\text{C}$ протягом 25 ± 2 хв. Випечені зразки житньо-пшеничного хліба після повного остигання (через 3 год після випікання) запаковували в полімерну поліетиленову плівку та зберігали за температури $19 \pm 1^\circ\text{C}$ і відносної вологості повітря $70 \pm 5\%$ протягом 72 год.

Зміну фізико-хімічних властивостей хліба під час зберігання оцінювали за показниками його вологості, водопоглинальної здатності (гідрофільних властивостей) та кришкуватості.

Масову частку вологи в хлібі визначали стандартним методом шляхом висушування до постійної маси за ДСТУ 7045:2009 (Дробот та ін., 2015).

Водопоглинальну здатність м'якушки хліба досліджували за методикою, викладеною у (Дробот та ін., 2006). М'якушку подрібнювали та зважували 3 г крихти, яку переносили на сито і протягом 5 хв по краплині додавали 17 см³ дистильованої води. Змочену м'якушку збирали із сита і зважували. Кількість поглинутої хлібом води V (% на СР) розраховували за формулою:

$$V = \frac{(G_1 - G_2) \cdot 100 \cdot 100}{G_2 \cdot (100 - W)},$$

де G_1 — маса хліба після змочування, г; G_2 — маса наважки хліба до змочування, г; W — масова частка вологи у хлібі, %.

Кришкуватість хліба визначали за вмістом крихти, що утворилася внаслідок струшування на вібраційному змішувачі внаслідок тертя двох шматків м'якушки (Дробот та ін., 2006). Показник кришкуватості X (% до маси м'якушки) розраховували за формулою:

$$X = \frac{G_1}{G_2} \cdot 100,$$

де G_1 — маса крихти, г; G_2 — маса наважки хліба, г.

Структурно-механічні властивості хліба досліджували за показником стискуваності (ступенем пенетрації), визначеного на автоматизованому пенетрометрі Labor, принцип дії якого ґрунтується на вимірюванні опору дослідних зразків проникаючому в них індентору (кут $\alpha = 90^\circ$) (Горальчук та ін., 2006).

Викладення основних результатів дослідження. Результати досліджень фізико-хімічних властивостей дослідного та контрольного зразків житньо-пшеничного хліба протягом зберігання представлені у табл. 1 та на рис. 1 і 2. Під час вивчення впливу шротів на зміну вологості виробів встановлено, що дослідний зразок хліба має вищу початкову вологість порівняно з контрольним зразком вже після випікання (табл. 1).

Таблиця 1. Зміна вологості житньо-пшеничного хліба під час зберігання (n=3, p≤0,05, σ=3...5%)

Зразки хліба	Тривалість зберігання хліба, %			
	3 год	24 год	48 год	72 год
Хліб без добавок (контроль)	46,0	43,4	40,3	38,6
Хліб з ШЗВ+ШПШ	48,1	47,1	45,6	44,1

Це зумовлено як більшою вологістю тіста з ШЗВ та ШПШ, так і меншими втратами вологи під час випікання за рахунок значного вмісту у шротах високогідрофільних некрохмальних полісахаридів та білка (у ШЗВ). Встановлено, що і протягом зберігання хліб із ШЗВ та ШПШ втрачає вологу менш інтенсивно, ніж контрольний зразок: через 72 год з початку експерименту його вологість знизилася на 8,3% відповідно, тоді як вологість контрольного зразка — на 16,1%.

Така ж тенденція зберігалася і в зміні гідрофільних властивостей контрольного та дослідних виробів. Як свідчать представлені на рис. 1 дані, кількість поглинутої води дослідним зразком хліба за період зберігання знизилася на 19,6% відносно початкового значення, тоді як у контрольного зразка — на 39,1%.

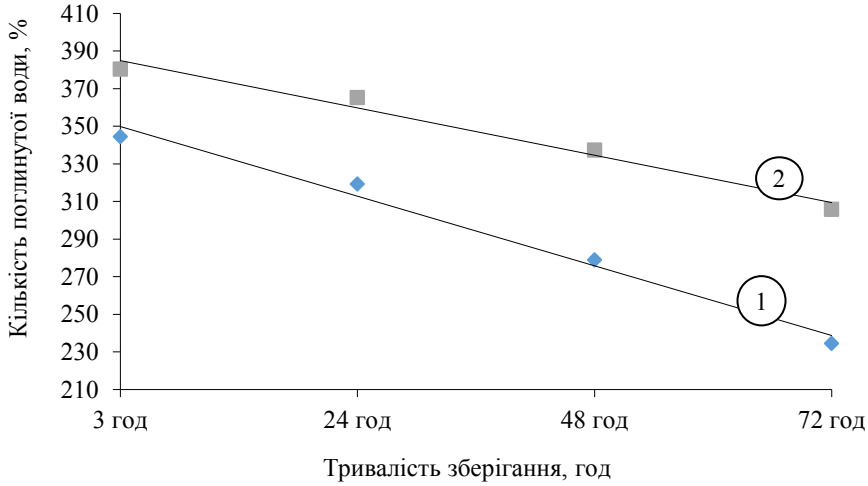


Рис. 1. Зміна гідрофільних властивостей м'якушки під час зберігання житньо-пшеничного хліба: 1 — без добавок (контроль); 2 — з додаванням ШЗВ+ШПШ

Результати визначення зміни кришкуватості контрольних і дослідних виробів протягом зберігання (рис. 2) також свідчать про позитивний вплив сумісного додавання шротів зародків вівса та плодів шипшини на показники свіжості хліба.

Так, величина цього показника дослідного зразка через 72 год з початку дослідження збільшилася у 3,8 раза, тоді як кришкуватість контрольного зразка зросла значно більше — у 6,0 разів.

Відомо, що процеси черствіння хліба призводять до погіршення його структурно-механічних властивостей. М'якушка виробів ущільнюється, втрачає еластичність і пружність.

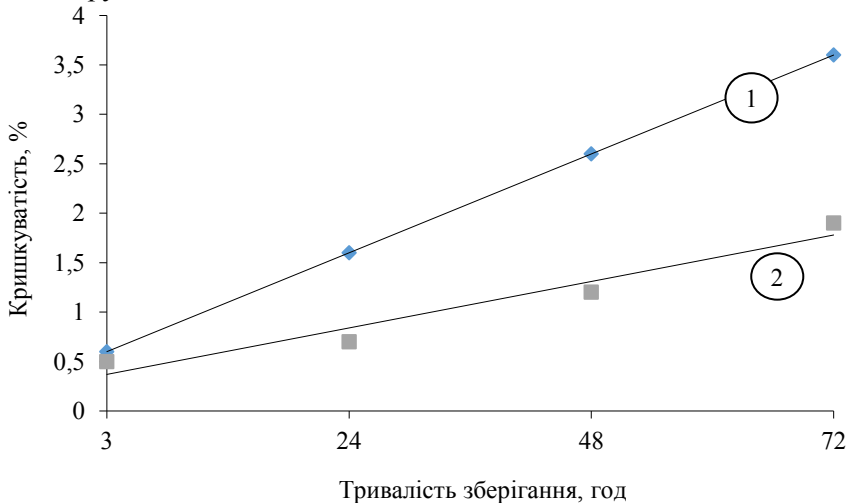


Рис. 2. Зміна кришкуватості м'якушки під час зберігання житньо-пшеничного хліба: 1 — без добавок (контроль); 2 — з додаванням ШЗВ+ШПШ

Результати визначення зміни структурно-механічних властивостей дослідних та контрольного зразків хліба за показником стискуваності представлені у табл. 2.

Таблиця 2. Зміна стискуваності житньо-пшеничного хліба під час зберігання ($n=3$, $p \leq 0,05$, $\sigma=3 \dots 5\%$)

Зразки хліба	Тривалість зберігання хліба, %			
	3 год	24 год	48 год	72 год
Хліб без добавок (контроль)	40,0	35,0	27,0	19,0
Хліб з ШЗВ+ШПШ	47,0	44,0	38,0	30,0

Встановлено, що м'якушка свіжовипеченого хліба з додаванням шротів мала на 17,5% вищий показник стискуваності, ніж контрольний зразок, що свідчить про кращу її еластичність. Поліпшення структури житньо-пшеничного хліба значною мірою зумовлено укріпленням клейковини пшеничного борошна під дією аскорбінової кислоти ШПШ. Протягом експерименту стискуваність м'якушки дослідного зразка зменшується менш інтенсивно: після 72 год зберігання її величина у хліба зі шротами знизилася відносно початкової на 36,2%, тоді як у контрольного зразка — на 52,5%. Слід зазначити, що стискуваність м'якушки дослідних зразків хліба через 72 год зберігання була вищою, ніж у контрольного зразка через 48 год. Це, ймовірно, пов'язано зі зниженням швидкості ретроградації крохмалю борошна за рахунок обволікання молекул амілози та амілопектину наявними у шротах геміцелюлозами. Крім того, дослідні вироби мають вищий, ніж у контрольного зразка, вміст білка, денатураційні зміни якого відбуваються значно повільніше, ніж старіння крохмалю.

Висновки

1. Встановлено, що сумісне додавання 16,0% шротів зародків вівса та 4,2% шроту плодів шипшини сприяє менш інтенсивному погіршенню фізико-хімічних показників якості житньо-пшеничного хліба під час зберігання, таких як вологість, намочуваність і кришкуватість м'якушки.

2. Протягом усього терміну зберігання дослідні зразки житньо-пшеничного хліба порівняно з контрольним зразком без добавок мають вищі показники стискуваності м'якушки, що свідчить про уповільнення процесів черствіння.

Одержані результати вказують на значний потенціал шротів зародків вівса та плодів шипшини для подальшого використання у технологіях хліба житньо-пшеничного подовженого терміну зберігання.

Література

Білик, О. А., Халікова, Е. Ф., Грегірчак, Н. М., Маринін, А. І. (2015). Перспективи використання комплексного хлібопекарського поліпшувача «Свіжість К+» у технології хлібобулочних виробів. *Харчова наука і технологія*, 3(31), 90—97.

Горальчук, А. Б., Пивоваров, П. П., Гринченко, О. О., Погожих, М. І., Полевич, В. В. & Гурський, П. В. (2006). *Реологічні методи дослідження сировини і харчових продуктів та автоматизація розрахунків реологічних характеристик: навч. посібник*. Харків: ХДУХТ.

Дробот, В. І. (2002). *Технологія хлібопекарського виробництва*. Київ: Логос.

Дробот, В. І., Арсеньева, Л. Ю., Білик, О. А., Доценко, В. Ф., Савчук, Н. І., Сильчук, Т. А. ... Юрчак, В. Г. (2006). *Лабораторний практикум з технології хлібопекарського та макаронного виробництва*. Київ: Центр навч. літ.

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

Дробот, В. І., Юрчак, В. Г., Білик, О. А., Бондаренко, Ю. В., Грищенко, А. М., Зінченко, І. М. ... Філендиш, І. О. (2015). *Технохімічний контроль сировини та хлібобулочних і макаронних виробів: навч. посібник*. Київ: НУХТ.

Кобець, О. С., Арпуль, О. В., Доценко, В. Ф. (2016). Рослинні олії як джерела функціональних інгредієнтів. *Наукові праці НУХТ*, 2 (22), 204—212.

Олійник, С. Г., Самохвалова, О. В., Лапицька, Н. В. (2019). Вплив шроту плодів шипшини на процеси дозрівання та якість житньо-пшеничного хліба. *Наукові праці НУХТ.*, 6(25), 250—259.

Прохорчук, І. Олійно-жирова галузь 2020: тенденції, прогнози, перспективи. Взято з <https://www.growthow.in.ua/oliyno-zhygova-haluz-2020-tendentsii-prohnozy-perspektyvy>.

Сильчук, Т. А., Голікова, Т. П., Назар, М. І. (2016). Збереження свіжості хлібобулочних виробів, збагачених харчовими волокнами. *Хранение и переработка зерна*, 8(204), 53—55.

Черевко, О. І., Михайлов, В. М., Самохвалова, О. В., Олійник, С. Г., Кучерук, З. І., Касабова, К. Р. ... Шкляєв, О. М. (2021). *Інноваційні технології оздоровчих харчових продуктів на основі рослинної сировини та обладнання для їх реалізації: монографія у 3 ч. Ч. 2.: Технології оздоровчих хлібобулочних і кондитерських виробів з використанням нетрадиційної сировини: монографія*. Харків: Видавництво Іваненка І. С.

Curti, E., Carini E., Tribuzio, G., Vittadini, E. (2015). Effect of bran on bread staling: Physico-chemical characterization and molecular mobility, *Journal of Cereal Science*, 65, 25—30.

Oliinyk, S., Samokhvalova, O., Lapitska, N., Kucheruk, Z. (2020). Studying the influence of meats from wheat and oat germs, and rose hips, on the formation of quality of rye-wheat dough and bread. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1/11(103), 59—65.

Pojić, M. M., Hadnadev, T. D., Hadnadev, M. S., Rakita, S., & Brlek, T. (2015). Bread Supplementation with Hemp Seed Cake: A By-Product of Hemp Oil Processing. *Journal of Food Quality*, 38, 431—440.

Willhoft, E. M. A. (2007). Mechanism and theory of staling of bread and baked goods, and associated changes in textural properties. *Journal of Texture Studies*, 4(3), 292—322. doi: <http://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1973.tb00844.x>.

STUDY OF STABILITY OF INDICATORS OF FRUIT EMULSION SAUCEES USING DRY WHEY AND PYROGENIC SILICON

V. Pasichnyi, T. Khorunzha, O. Fursik, V. Rudiuk
National University of Food Technologies

Key words:

Sauce
Emulsion
Silica
Whey powder
Plum vinegar

Article history:

Received 11.10.2021
Received in revised form
18.10.2021
Accepted 27.10.2021

Corresponding author:

V. Pasichnyi
E-mail:
pasww1@ukr.net

ABSTRACT

The article examines the domestic market of sauce products. The market of sauce products in Ukraine has a diverse range in composition and taste. However, the needs of the modern consumer are growing rapidly. Market operators are constantly reviewing supply, responding to new needs and changing population demand.

Ukraine has a fairly wide range of sauces. Fruit-based emulsion sauces became especially popular, as they add flavor to finished products, in particular, meat products, improve the appearance of the finished product, and increase the biological value. It was established that at the market of sauces there is a tendency to increase consumer demand for products from high quality natural raw materials, without the use of artificial components, thus, the urgent task is to develop and implement new sauces. The modern directions of development of technologies of sauce production, the range of emulsion food systems which are used to manufacture sauces of this category are analyzed. The expediency of using emulsion systems as the main component for the production of multifunctional fat base of food products, the use of which allows to increase the content of biologically active substances in the finished product, was substantiated.

Six formulations of emulsion sauces were developed, refined sunflower oil was used as a fat base, silica and dry whey were added to increase the emulsifying ability and stabilize structure.

It was established that the use of silica and whey powders in sauces increases the stability of emulsion systems. In the sample with the introduction of the maximum amount of these additives the highest rate of stability of the emulsion regardless of heat treatment was observed. It is noted that the use of silica in the amount of 1.5 and dry whey in the amount of 6.5 provides the best organoleptic characteristics of the obtained sauces.

ДОСЛІДЖЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ ПОКАЗНИКІВ ПЛОДОВИХ ЕМУЛЬСІЙНИХ СОУСІВ З ВИКОРИСТАННЯМ СУХОЇ МОЛОЧНОЇ СИРОВАТКИ ТА ПІРОГЕННОГО КРЕМНЕЗЕМУ

В. М. Пасічний, Т. О. Хорунжа, О. П. Фурсік, В. П. Рудюк
Національний університет харчових технологій

У статті досліджено вітчизняний ринок соусної продукції. Ринок соусної продукції в Україні має різноманітний за складом і смаковими властивостями асортимент. Проте потреби сучасного споживача стрімко зростають. Оператори ринку постійно переглядають пропозицію, реагуючи на нові потреби та зміну попиту населення.

В Україні досить широкий асортимент соусів. Особливої популярності набули емульсійні соуси на фруктовій основі, адже вони додають готовим виробам, зокрема м'ясопродуктам, смак, покращують зовнішній вигляд готового продукту, підвищують біологічну цінність. Встановлено, що на ринку соусів спостерігається тенденція до збільшення споживчого попиту на продукцію з натуральної сировини високої якості, без використання штучних компонентів, тому актуальним завданням є розробка і впровадження нових соусів. Проаналізовано сучасні напрями розвитку технологій соусної продукції, асортимент емульсійних харчових систем, які використовуються при виробництві соусів цієї категорії. Обґрунтовано доцільність застосування емульсійних систем як основної складової для виробництва багатофункціональної жиркової основи харчових продуктів, використання якої дає змогу підвищити вміст біологічно активних речовин (БАР) у готовій продукції.

Розроблено шість рецептур емульсійних соусів на сливовій основі. Як жирову основу використовували олію соняшникової рафінованої, для збільшення емульгуючої здатності та стабілізації структури додали кремнезем та суху молочну сироватку.

Встановлено, що використання у складі соусів кремнезему та сухої молочної сироватки підвищує стабільність емульсійних систем. У зразку з внесенням максимальної кількості добавок був відмічений найвищий показник стабільності емульсії незалежно від температурної обробки. Відмічено, що використання кремнезему в кількості 1,5 та сухої молочної сироватки в кількості 6,5 забезпечує найкращі органолептичні показники отриманих соусів.

Ключові слова: *соус, емульсія, кремнезем, суха молочна сироватка, сливовий оцет.*

Постановка проблеми. Сьогодні зростає популярність і попит на соуси та продукти з їх використанням. Особлива увага приділяється емульсійним соусам на основі фруктів, ягід та овочів (Дьяконова & Степанова, 2015). Використання жирної основи значно скорочує час на приготування соусних виробів, покращує

її якість, дає змогу вдосконалювати існуючі технології виробництва емульсійних продуктів і розширювати асортимент соусів, заправок, паст тощо (Жукевич & Рудаєвська, 2012; Маєвський, 2019).

Соуси на основі плодової сировини користуються попитом у багатьох країнах, набувають все більшої популярності і серед споживачів вітчизняного ринку. В Україні реалізується досить широкий асортимент соусів на основі плодової сировини — ананасу, журавлини, кизилу, лимона, кокоса, манго тощо, що робить вартість продукції досить високою і диктує необхідність поновлення асортименту продукції підприємств харчової промисловості за рахунок використання сировини місцевого походження (Хорунжа & Пасічний, 2020).

Соуси широко використовуються при виготовленні м'ясопродуктів (Pasiczny, Yushchenko, Mykoliv & Kuzmyk, 2015; Pourkomaillian, 2000).

Потребує більш досконалого вивчення питання використання фруктової маси як основи для соусу для їх збагачення біологічно активними сполуками, тому перспективним напрямком є розроблення технології нових видів солодких соусів, до складу яких входять фруктові основи, які характеризуються вираженими функціональними властивостями. Це дасть змогу розширити асортимент солодких соусів, покращити їх колір, знизити енергетичну цінність, вміст цукру та зменшити вартість (Макаров & Влазнева, 2008).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми розширення асортименту високоякісних продуктів емульсійного типу, збагачених БАР, з вираженим впливом на організм людини досліджені у працях А. В. Зіолковської, Д. А. Гропянова, О. В. Масягіної, А. В. Жмудь, М. А. Кашкано, О. С. Шауріної. Проблемою розробки соусів із підвищеними показниками якості, зокрема зберігання вітамінів, мікроелементів, біологічно активних речовин та збагачення ними продуктів на основі плодової сировини займаються Р. Ю. Павлюк, М. Ф. Кравченко, А. А. Дубініна, Л. М. Тележенко. Проте аналіз існуючих рецептур соусів показав, що до цього часу асортимент залишається обмеженим, включає поширені види сировини, не використовуються широкі можливості підвищення харчової цінності та біологічної активності за рахунок фруктів (Маєвський, 2019; Слащева, Попова & Клименко, 2017)

Тож актуальним питанням є створення нових видів соусів на фруктовій основі, які мають однорідну консистенцію, привабливий зовнішній вигляд та високі функціональні властивості.

Метою дослідження є розроблення однорідних стабільних емульсійних соусів на фруктовій основі з високими органолептичними характеристиками.

Матеріали і методи. Однією з основних характеристик соусів є текстура, якість якої залежить не тільки від основних інгредієнтів, але й від загущувачів, які використовуються в рецептурі (Хорунжа, Пасічний & Артюх, 2020). Через високий вміст жиру в емульсійних соусах можна спостерігати неоднорідність консистенції продукту. Для створення соусів на емульсійній основі використовували сливовий оцет, як жирову основу використовували олію рослинну рафіновану ТМ «Щедрий дар». Для стабілізації емульсійної структури соусу використали суху молочну сироватку та кремнезем. Кремнезем (E551) — це харчова

добавка (нанокомпозит), що перешкоджає злежуванню і грудкуванню, антиспінюючий агент, освітлювач. За зовнішнім виглядом кремнезем — це пухкий голубувато-білий порошок або пухкі гранули без смаку і запаху (Хомич, Ткач & Кирильченко, 2017).

Об'єктом дослідження є технологія емульсійних соусів, до складу яких входять фруктові основи з вираженими функціональними властивостями. Предмет дослідження: емульсійні фруктові соуси до та після теплового нагрівання (пастеризації).

У процесі досліджень використовували традиційні методи для визначення стабільності емульсій, органолептичного оцінювання. Визначення реологічних показників емульсійних соусів проводили з використанням ротаційного віскозиметра REOTEST-2.

Рецептури дослідних зразків соусів представлені в табл. 1.

Таблиця 1. Рецептури соусів

Дослідний зразок	Сливовий оцет, %	Кремнезем, %	Суха молочна сироватка, %	Олія рафінована, %
№1	75	1,5	6,5	17,0
№2	60	1,5	6,5	32
№3	75	1,5	6,5	17,0
№4	65	0,5	2,5	32
№5	90	0,5	2,5	7,0
№6	90	1,5	2,5	6,0

Перед проведенням досліджень виготовляли дослідні соуси шляхом змішування інгредієнтів.

Для встановлення відповідності функціональних характеристик провели дослідження показників емульгуючої здатності та стабільності емульсії, а також визначили реологічні властивості отриманих соусів. Оскільки запропонований продукт планується в подальшому використовуватись у технології м'ясних виробів подовженого терміну зберігання, дослідили стабільність емульсій і реологічні властивості дослідних зразків при термічній обробці (пастеризація при температурі 90°C і тривалості 120 хв). Після термічної обробки дослідні емульсії охолоджували до кімнатної температури.

Для досліджень емульсійної здатності розроблених композицій визначили показники стійкості емульсії шляхом вимірювання кількості олії, що відділилася після виготовлення емульсії та після нагрівання при температурі 85°C.

Реологічні властивості характеризували шляхом визначення показників ефективної в'язкості та дотичного напруження зсуву.

Результати і обговорення. Важливим показником, який визначає параметри використання емульсійних соусів у технології м'ясних виробів, є їх стабільність. Для її визначення приготувані соуси витримували при кімнатній температурі 15 хв. Протягом цього часу спостерігали за розподілом водної та жирової фази у складі емульсії та визначали частку кожної з відділених фаз. Результати отриманих даних для соусів наведені в табл. 2.

Таблиця 2. Розподіл складових емульсійних соусів в об'ємі при відстоюванні

Рецептура	Водна фаза, %	Емульгована фаза, %	Жирова фаза, %
1	—	99,5	0,5
2	-	100,0	—
3	15,5	79,2	5,3
4	8,7	91,3	—
5	6,2	93,8	—
6	12,3	87,7	—

На основі отриманих даних визначали здатність складових компонентів соусу поглинати та утримувати молекули води і жиру в утвореній структурі.

Найвищий показник емульгуючої здатності відмічений для дослідного зразка № 1. Наочно описані дані продемонстровані на рис. 1.

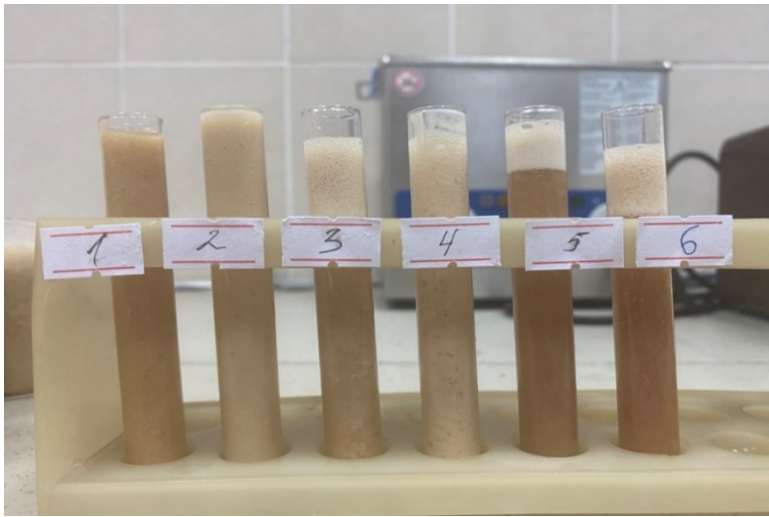


Рис. 1. Емульсійні соуси до термічного оброблення

Для встановлення здатності зберігати стабільність утвореної емульсії в процесі термічної обробки (яка моделює процес пастеризації м'ясних виробів) спостерігали за розподілом фаз емульсії після її витримання при температурі 0—4° і подальшого відстоюванню (табл. 3).

Таблиця 3. Розподіл складових емульсійних соусів в об'ємі при відстоюванні після термічної обробки

Рецептура	Водна фаза, %	Емульгована фаза, %	Жирова фаза, %
1	—	84,9	15,1
2	—	100,0	—
3	—	74,7	25,3
4	—	86,2	13,8
5	—	62,8	37,2
6	—	75,8	24,2

Значення показника стійкості емульсії для зразка № 2 — не змінилося і складає 100%. Для решти соусів показник емульгуючої здатності погіршився. З даних табл. 3 видно, що розроблені склади композицій з вмістом олії № 2 мають найвищу емульгуючу здатність і зберігають її після пастеризації. Це пояснюється властивістю сироватки обволікати жири, що запобігає їх злиттю та стабілізує емульсію. Також відстежується позитивний вплив кремнезему на стабільність емульсії та здатність до емульгування. Наочно описані дані продемонстровані на рис. 2.

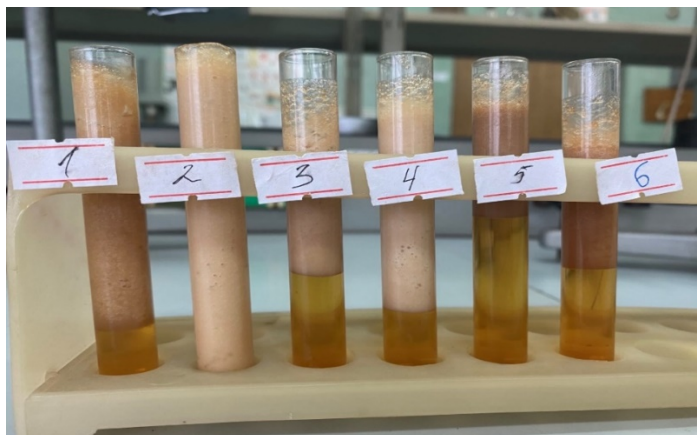


Рис. 2. Емульсійні соуси після термічного оброблення (пастеризації)

Основною властивістю, яка обумовлює привабливість нової продукції для споживачів, є органолептичні показники.

Було проведено органолептичну оцінку емульсійних соусів до та після теплового оброблення. В процесі органолептичного оцінювання визначали такі характеристики: смак, запах, колір, зовнішній вигляд, однорідність текстури. Отримані результати органолептичного оцінювання соусів до та після нагрівання представлено на рис. 3 та 4.

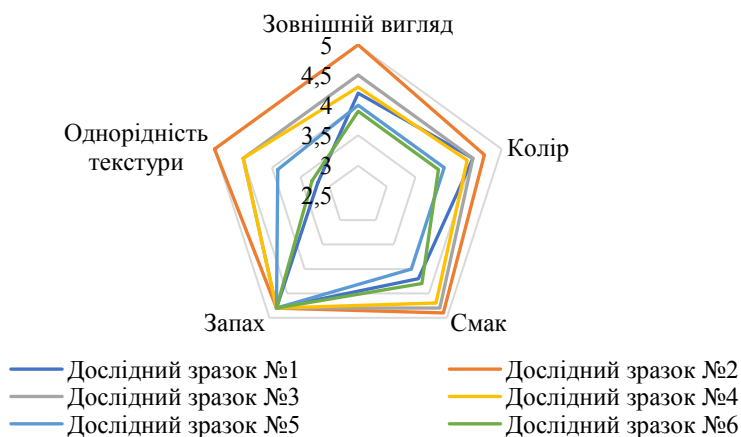


Рис. 3. Профілограма органолептичних показників емульсійних соусів до термічного оброблення

Як видно з представленої профілограми (рис. 3), найвищі органолептичні оцінки мають рецептури № 1, № 2, № 3 та № 4. Це, на наш погляд, обумовлено тим, що при наявності в рецептурах рослинної олії в кількості 17—32% в поєднанні з пірогенним кремнеземом та сухою молочною сироваткою досягається стабілізація дисперсності модельних соусів.

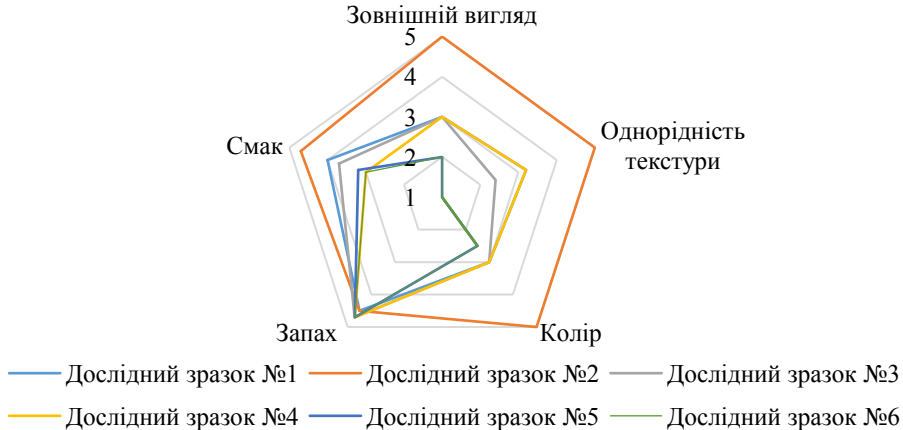


Рис. 4. Профілограма органолептичних показників соусів після термічного оброблення (пастеризації)

Після теплового оброблення кращу органолептичну оцінку отримав соус, виготовлений за рецептурою № 2. Такий варіант соусу не втратив однорідності емульсії і після пастеризації. При цьому соус має гарний смак, колір та аромат.

Для визначення рецептурного складу соусів (Пасічний & Ястреба, 2013) до та після пастеризації використано ротаційний віскозиметр REOTEST-2.

На рис. 5 та 6 представлено зміну ефективної в'язкості модельних соусів від кутової швидкості до та після проведення пастеризації. На рис. 7 та 8 представлено зміну значень дотичного напруження зсуву від градієнта напруження.

З представлених на рис. 5 залежностей видно, що вищі значення ефективної в'язкості від кутового обертання циліндра ротора мають зразки № 1—4, що узгоджується з показниками їх органолептичної оцінки.

Після пастеризації відбулось збільшення значень ефективної в'язкості для всіх варіантів соусів (рис. 6). Однак найбільш ефективно збільшувалась в'язкість у соусах № 6, № 4 та № 2. Характерною для цих зразків була наявність у рецептурах більшої частки пірогенного кремнезему або вмісту олії.

Однак соус № 6 в процесі теплового оброблення значно розшаровувався, що не дає змоги рекомендувати його для виробництва.

Представлені на рис. 7 та 8 залежності дотичного напруження зсуву від градієнта напруження узгоджуються з показниками зміни ефективної в'язкості і органолептичними показниками емульсійних соусів.

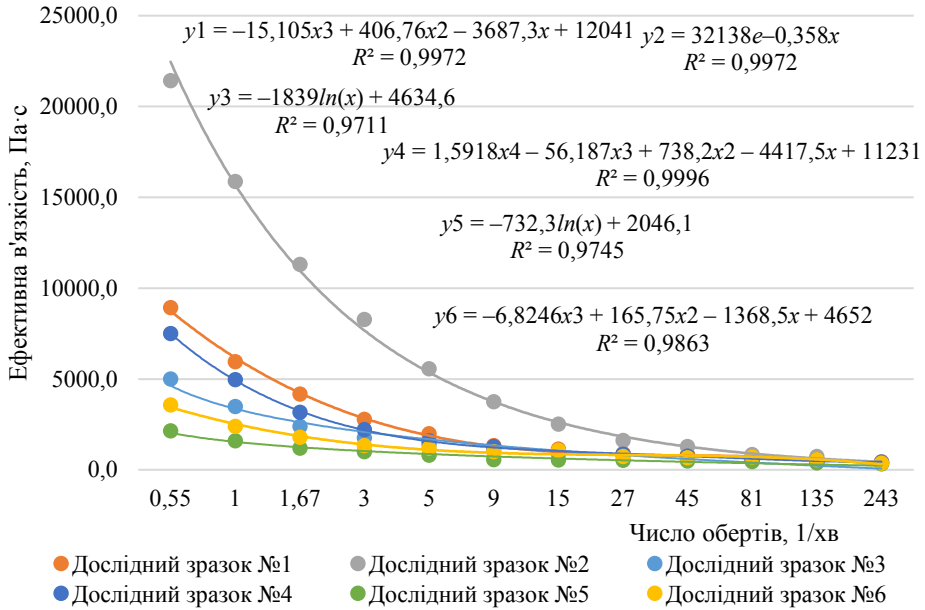


Рис. 5. Залежність показника ефективної в'язкості дослідних зразків емульсійних соусів від числа обертів ротора до пастеризації

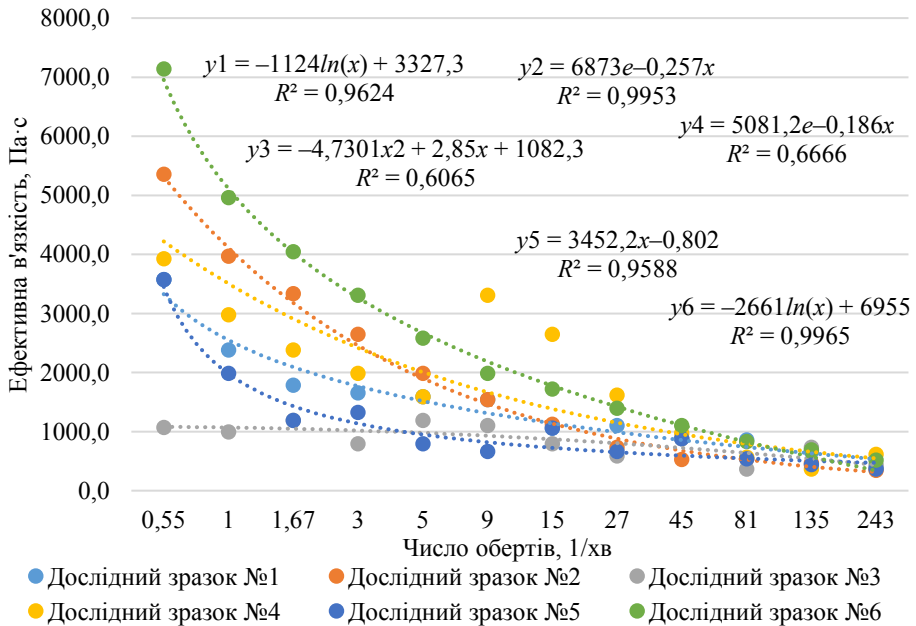


Рис. 6. Залежність показника ефективної в'язкості дослідних зразків емульсійних соусів від числа обертів ротора після пастеризації

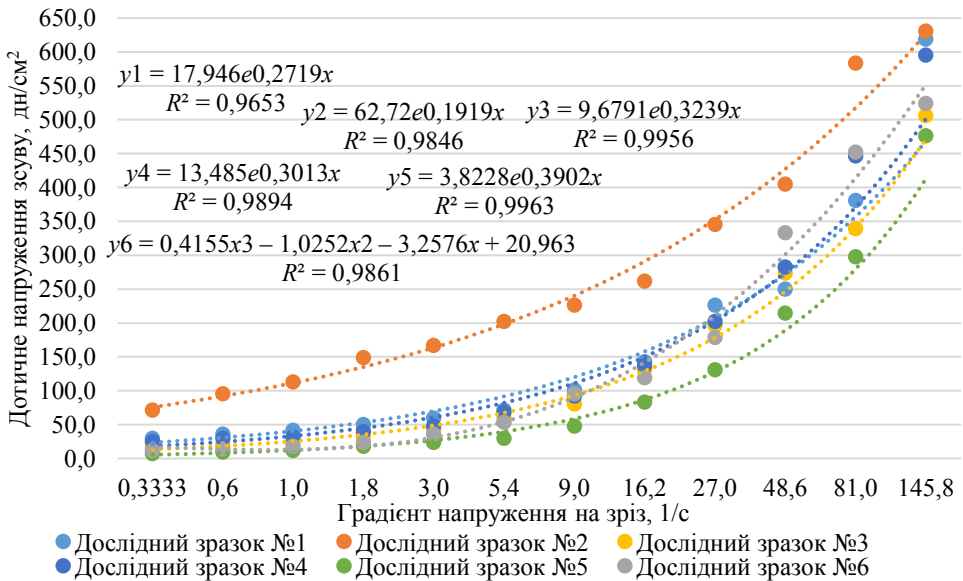


Рис. 7. Зміна дотичного напруження зсуву для емульсійних соусів залежно від градієнта напруження на зріз до пастеризації

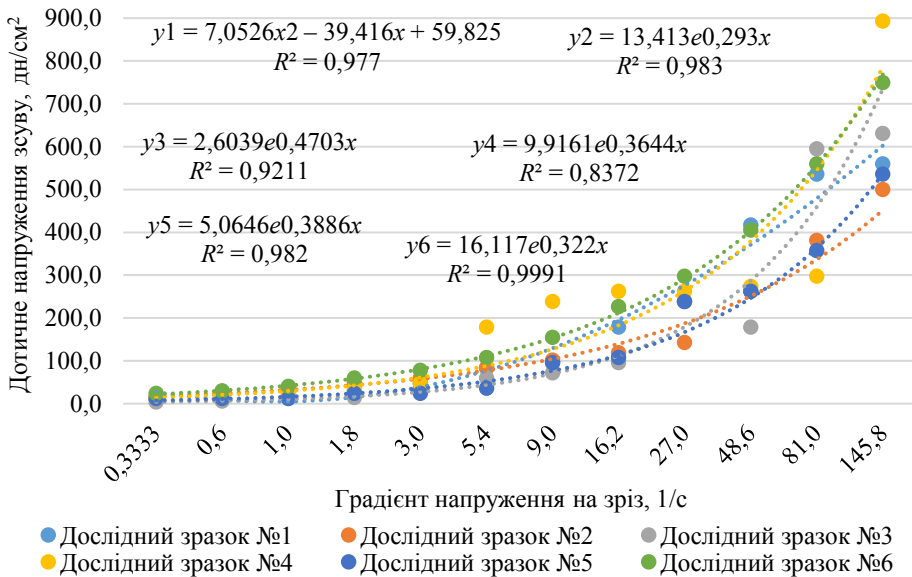


Рис. 8. Зміна дотичного напруження зсуву для емульсійних соусів залежно від градієнта напруження на зріз після пастеризації

Так, до пастеризації найвищі значення дотичного напруження зсуву мав соус, виготовлений за варіантом № 2, а після пастеризації — № 4. Однак необхідно відмітити, що соус, виготовлений за варіантом № 2, практично не змінював своїх

значень по дотичному напруженню зсуву від дії пастеризації, що вказує на високу стабільність реологічних показників цього варіанта рецептури соусу.

Висновки

Досліджено вплив рецептурного складу плодкових емульсійних соусів і теплового оброблення на зміну функціонально-технологічних, реологічних і органолептичних показників соусів для можливості використання в технології пастеризованих виробів.

Визначено, що використання в складі емульсійного соусу пірогенного кремнезему в кількості 1,5% із сухою молочною сироваткою в кількості 6,5% дає змогу ефективно стабілізувати термостійкість, функціонально технологічні показники емульсійних соусів, у складі яких використовується рафінована рослинна олія в кількості 17—32%.

Подальші дослідження будуть спрямовані на розроблення пастеризованих харчових продуктів з використанням розроблених соусів.

Література

Pasichnyi, V., Yushchenko, N., Mykoliv, I., & Kuzmyk, U. (2015). Structure stabilization of fermented-milk pastes. *Ukrainian Food Journal*, 4(3), 431—439.

Pourkomaillian, B. (2000). Sauces and dressings. *The stability and shelf-life of food*, 311.

Дьяконова, А. К., Степанова, В. С., (2015). Перспективні напрямки розвитку і розширення асортименту соусної продукції на емульсійній основі. *Харчова наука та технологія*, 9(4).

Жукевич, О., Рудавська, Г. (2012). Виробництво та споживання соусів в Україні. *Товари і ринки*, (1), 37—45.

Маєвський, Є. Р., (2019). Вдосконалення асортименту соусів на емульсійній основі. *Вісник студентського наукового товариства «ВАТРА» Вінницького торговельно-економічного інституту КНТЕУ*. Вінниця: Редакційно-видавничий, 178.

Макаров, В. Н., Влазнева Л. Н. (2008). Пектиносодержащие желе и соусы на основе натурального плодовоовощного сырья. *Пищевая промышленность*, 8, 18—19.4.

Мак Кенна, Б. М. (2008). *Структура и текстура пищевых продуктов: продукты эмульсионной природы*. СПб.: Профессия.

Пасічний, В. М., Хорунжа, Т. О. (2020). Дослідження впливу пастеризації на органолептичні, реологічні та фізико-хімічні характеристики сосисок. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*, 26, 3, 214—221.

Слащева, А. В., Попова, С. Ю., Клименко, А. В. (2017). Дослідження показників якості та безпечності соусів з підвищеним вмістом пектинових речовин. *Обладнання та технології харчових виробництв*, (35), 18—24.

Хомич, Г. П., Ткач, Н. І., Кирильченко, М. В. (2017). Розробка технології фруктових соусів із використанням бананів та соку чорної смородини. *Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі. Серія: Технічні науки*, (1), 45—52.

Хорунжа, Т. О., Пасічний, В. М., Артюх, І. Л. (2020). Сливовий соус для сосисок пастеризованих. *Інноваційні технології та перспективи розвитку м'ясопереробної галузі*, 147.

Пасічний, В. М., Ястреба, Ю. А. (2013). Дослідження структурно-механічних властивостей гелів альгінатів для виробництва м'ясних та м'ясомістких продуктів. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. Гжицького*, 15, 1(3), 125—129.

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).

У редакційно-видавничий відділ необхідно представити:

- файл статті;
- рецензію доктора наук певної галузі (за тематичною спрямованістю статті). Якщо один із авторів статті є доктором наук, то рецензія необов'язкова;
- роздруковку тексту статті, що відповідає наданому файлу;
- 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 вчитаних роздруків на папері формату А4 (поля з усіх сторін по 2 см, Time New Roman, кегль 14, інтервал 1,5) та електронної версії (редактор Microsoft Word). У тексті статті не повинно бути порожніх рядків. Між словами допускається лише один пробіл. Усі сторінки тексту мають бути пронумеровані. Обсяг статті має бути не менший 15 тис. знаків і не перевищувати 24 тис. знаків (як виняток, не більше 40 тис. знаків).

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 джерел (не менше п'яти джерел). **Бібліографічні описи оформляються згідно з міжнародним стилем АРА.** Бібліографічний опис подається мовою видання. Не допускається посилання на неопубліковані матеріали. У переліку джерел мають переважати посилання на наукові праці останніх років. 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 англійських 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 author should submit to the editorial board the following documents:

- 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;
- Printed version of the manuscript;
- 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 printed version of the manuscript should be submitted on A4 paper (margins of 2 cm, Time New Roman, type size 14, spacing 1.5) and the electronic version should be submitted in a Microsoft Word document. 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 size of the manuscript should be from 12,000 to 24,000 characters (as an exception, up to 40,000 characters).

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 (not less than 5) 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. 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