

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

АВРАМЕНКО АЛІНА ДМИТРІВНА

УДК 664.2-048.77:[664-935.5:577.19(043.5)]

ДИСЕРТАЦІЯ

**ТЕХНОЛОГІЯ МОДИФІКОВАНОГО КРОХМАЛЮ З
ІНКАПСУЛЮВАННЯМ БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ РЕЧОВИН ДЛЯ
ЗБАГАЧЕННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ**

Спеціальність 181 – Харчові технології

Галузь знань – 18 Виробництво та технології

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.


_____ А.Д. Авраменко

Науковий керівник: Грабовська Олена В'ячеславівна,
доктор технічних наук, професор



Підпис(и)

Вчений секретар

Київ 2023

АНОТАЦІЯ

Авраменко А.Д. «Технологія модифікованого крохмалю з інкапсулюванням біологічно активних речовин для збагачення харчових продуктів»

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 181 Харчові технології – Національного університету харчових технологій Міністерства освіти і науки України, Київ, 2023.

Дисертаційну роботу присвячено розробленню технології модифікованого пористого крохмалю, дослідженню його фізико-хімічних властивостей, обґрунтуванню придатності до інкапсулювання біологічно активних речовин і використанню для збагачення харчових продуктів.

На основі аналізу літератури, встановлено, що перспективним напрямком дослідження є розроблення технології і використання модифікованого резистентного крохмалю у якості носія для інкапсулювання біологічно активних речовин з метою їх збереження від дії небажаних чинників у ході приготування харчових продуктів оздоровчого призначення.

На основі теоретичних та експериментальних досліджень розроблено технологію фізичної модифікації крохмалю, в основі якої заморожування крохмальних клейстерів низьких концентрацій (5, 10 %) за температури -18°C протягом 24 годин з подальшим розморожуванням, відтаванням, зневодненням, подрібненням і висушуванням.

Дослідження внутрішньої структури за допомогою скануючої електронної мікроскопії показало, що, на відміну від нативних крохмалів, модифіковані не мають зернистої структури і являють собою частинки висушеного ретроградованого крохмального клейстеру, що надає крохмалю пористої структури і специфічних властивостей. Аналіз фазової структури різних видів пористого крохмалю дозволив встановити, що зі збільшенням концентрації крохмального клейстеру, який піддавали заморожуванню, зростає ступінь кристалічності пористого крохмалю, причому для картопляного крохмалю ця залежність виражена більше.

На основі досліджень сорбційних характеристик модифікованого крохмалю встановлено, що зі збільшенням концентрацій клейстерів з 5 до 20 % як для картопляного, так і для кукурудзяного крохмалів середній діаметр пор зменшується, що означає залежність сорбційних властивостей модифікованого крохмалю від концентрації клейстеру, який піддавали заморожуванню. При порівнянні зразків модифікованого крохмалю з нативним доведено, що пористий крохмаль містить найбільшу кількість мікропор діаметром близько 10 ангстрем, а нативного – пори діаметром максимально 7,7 ангстрем. Це свідчить про більшу поглинальну і адсорбційну здатність модифікованого пористого крохмалю.

Встановлено, що гідрофільність модифікованих крохмалів значно перевищує гідрофільність нативних видів крохмалю. Віскографічні дослідження показали, що при зменшенні концентрації картопляного крохмального клейстеру з 10% до 5%, в'язкість суспензії модифікованого крохмалю при нагріванні значно зменшується. Вочевидь, що більше зв'язаної води (незамерзаючої) містить крохмальний клейстер перед заморожуванням, тим менше проходить деструкція полісахаридів крохмалю в циклах заморожування-відтавання.

На підставі експериментальних досліджень розроблено принципову і апаратурно-технологічну схеми виробництва пористого крохмалю. Розроблена технологія виробництва модифікованого крохмалю була апробована на підприємстві ПБП «Вимал». Дослідно-промислові випробування розробленої технології підтвердили, що за невисоких капітальних витрат можна налагодити виробництво нового виду модифікованого крохмалю для інкапсулювання біологічно активних речовин.

Доведено можливість інкапсулювання низькомолекулярних речовин у структуру пористого крохмалю на прикладі аскорбінової кислоти і тимолу. Аскорбінова кислота на 60-77 % включається в структуру крохмалю при заморожуванні клейстеру. Ступінь її зв'язування мало залежить від концентрації клейстеру і концентрації кислоти. Збагачений аскорбіновою кислотою модифікований крохмаль, отриманий при заморожуванні клейстерів концентрацією 5 і 10% краще утримує аскорбінову кислоту своєю поверхнею.

Загалом кукурудзяний крохмаль дещо краще зв'язує аскорбінову кислоту з розчинів ніж картопляний.

Розроблено технологію інкапсулювання кверцетину у структуру пористого крохмалю. Експериментально встановлено, що кверцетин інкапсульований у модифікований крохмаль перебуває в некристалічній формі (або у вигляді кристалів з розміром менше 10^{-9} м) при збереженні аморфної форми пористого крохмалю. Фізико-хімічні дослідження отриманого продукту сорбції показали, що між молекулами крохмалю та кверцетину може мати місце хімічна взаємодія за типом хемосорбції. Проведені дослідження показали можливість отримання водорозчинних комплексів кверцетину шляхом його сорбції на пористому крохмалі, що відкриває перспективи створення Р-вітамінних харчових добавок оздоровчої дії.

Доведено, що крохмаль, який піддавали модифікації заморожуванням, має більшу стійкість до ферментативного гідролізу, ніж нативний. Отримані результати досліджень показують, що при комбінації етапів заморожування-відтавання внаслідок льодоутворення у клейстерах, відбувається ретроградація крохмальних полісахаридів з утворенням міцної структури, не доступної до дії амілолітичних ферментів. Перевірка на резистентність показала, що пористий крохмаль виявляє стійкість до ферментативного гідролізу і має властивості резистентного крохмалю третього типу РКЗ. Найбільш стійким є модифікований крохмаль отриманий з 5% крохмального клейстеру.

Розроблено спосіб отримання порошкоподібного інкапсульованого екстракту гібіскусу на основі модифікованого набухаючого картопляного крохмалю, який може бути застосований в якості згущувача, підкислювача і барвника в рецептурах харчових концентратів, а наявність в екстракті гібіскусу вітамінів, органічних кислот, флавоноїдів і, особливо, антоціанів підвищує біологічну цінність готового продукту.

Розроблено рецептуру кексу «Новинка» із заміною 30 % пшеничного борошна на пористий резистентний крохмаль. З отриманих результатів досліджень видно, що з додаванням до рецептури кексів модифікованого резистентного

крохмалю покращуються органолептичні показники готових виробів порівняно з кексом «Столичним». Крім того, використання модифікованого РК рецептури кексу знижує показник глікемічності на 4,79 од., а калорійність виробу – на 41,01 ккал. Споживання одного кексу, масою 100 г, на добу задовольняє добову потребу у резистентному крохмалі на 24,6 %.

Розроблено рецептуру кексу із заміною цукру у рецептурі на резистентні види крохмалю з інкапсулюванням кверцетину і стевії, взяті у співвідношенні 1:1: один збагачений 3% розчином стевії, а другий – 1%-м розчином кверцетину, що вводились у 5-% крохмальні клейстери. На основі отриманих даних встановлено, що повна заміна цукру на резистентні крохмалі, збагачені кверцетином і стевією, дозволяє отримати кекси для спеціального дієтичного споживання.

Розроблено ресурсозберігаючу технологію низькокалорійного майонезного соусу підвищеної біологічної цінності із заміною яєчних білків на аквафабу – відвар білої квасолі та з додаванням резистентного пористого крохмалю з кверцетином. Обґрунтовано раціональне співвідношення аквафаби та рослинної олії як (40–.60):40, що дає змогу отримати емульсійні системи зі стабільністю 97 ± 2 %. Розроблено рецептуру емульсійного низькокалорійного соусу «Аквафаба». Соціальний ефект від впровадження розробленої технології низькокалорійного майонезного соусу полягає в забезпеченні населення продуктом щоденного вживання підвищеної біологічної цінності.

Достовірність отриманих експериментальних даних забезпечена використанням сучасних методик досліджень та відповідного обладнання. Наукові положення та рекомендації підтвержені лабораторними дослідженнями і виробничими випробуваннями.

За результатами дисертаційної роботи розроблено проєкт нормативної документації: технічні умови на «Крохмаль модифікований пористий» (ТУ У 15.8-02070938-315:2023), а також технологічну інструкцію на виробництво модифікованого пористого крохмалю. Апробацію технології модифікованого пористого крохмалю було проведено на ПБП «Вимал», кексів функціонального призначення «Новинка» – в умовах ФОП «Кононенко М.В.», низькокалорійного

майонезного соусу «AQUAFABA» – в умовах ТОВ «Продсервіс ІР», які підтверджуються відповідними актами.

Ключові слова: модифікація, крохмаль, картопляний крохмаль, кукурудзяний крохмаль, модифікований крохмаль, заморожування, технологія, інкапсулювання, біофлавоноїди, вітаміни, збагачення, кекси, харчова емульсія, соус, майонез, показники якості, оздоровчі продукти.

Список публікацій у фахових виданнях України

1. Hrabovska O., Pastukh H., Avramenko A., Sabadash N. Regulation of pectin properties by combination of raw materials. *Ukrainian journal of food science*. 2020. Vol. 8, I. 2. P. 260-267. (Журнал включений до переліку наукових фахових видань України за спеціальністю 181 «Харчові технології», категорія; міжнародна індексація: EBSCO, Google Scholar, ROAD, CASSI, FSTA, Index Copernicus, Ulrichsweb).

2. Hrabovska O., Pastukh H., Avramenko A., Sabadash N. Effect of the combined use of β -amylase and pullulanase on the carbohydrate composition of maltose syrups. *Ukrainian food journal*. 2021. Vol. 10. I. 4. P. 761-773. (Журнал включений до переліку наукових фахових видань України, категорія А; міжнародна індексація: Index Copernicus, EBSCO, Google Scholar, UlrichsWeb, CABI full text, Online Library of University of Southern Denmark, DRJI, ROAD, ERIH PLUS, DOAJ, InfoBase Index, CASSI, FSTA, Emerging Sources Citation Index, Scopus).

3. Грабовська О.В., Сабадаш Н.І., Авраменко А.Д., Додонова-Судьїна К.О., Пастух Г.С. Розроблення рецептурної композиції рідкого цукрозамінника на основі стевії та мальтозного сиропу для безалкогольних напоїв. *Наукові праці НУХТ*. 2021. Том 27, № 4. С. 141-153. (Журнал включений до переліку наукових фахових видань України, категорія; міжнародна індексація: EBSCO, Google Scholar, Index Copernicus).

4. Авраменко А.Д., Грабовська О.В. Використання резистентного крохмалю у технології кексів функціонального призначення. *Харчова промисловість*. 2021. № 30. С. 66-77. (Журнал включений до переліку наукових

фахових видань України, категорія Б; міжнародна індексація: *Google Scholar, Index Copernicus*).

5. Грабовська О., Вітряк О., Авраменко А. Концентрат киселю з інкапсульованим екстарктом гібіскусу. *Товари і ринки*. 2021. Т. 40, № 4. С. 122-132. (Журнал включений до переліку наукових фахових видань України, категорія Б; міжнародна індексація *Google Scholar, Index Copernicus, Academic Research Index ResearchBib, DRJI*).

6. Грабовська О., Авраменко А. Майонезний соус на основі аквафаби з інкапсульованим кверцетином. *Товари і ринки*. 2023. Т. 46, № 2. С. 131-147. (Журнал включений до переліку наукових фахових видань України, категорія Б; міжнародна індексація *Google Scholar, Index Copernicus, Academic Research Index ResearchBib, DRJI*).

Колективна монографія

7. Авраменко А., Грабовська О. Удосконалення технології пористого крохмалю для інкапсульювання аскорбінової кислоти *Prospective and priority directions of scientific research in technical and agricultural sciences: collective monograph*, 2023. Р. 239-247. DOI: 10.46299/ISG.2023.MONO.TECH.3.7.1. (Видання має міжнародну індексацію у *Crossref, DOI, OUCI*).

Тези доповідей та матеріали конференцій

8. Грабовська О.В., Авраменко А.Д. Капсулювання активних функціональних інгредієнтів для збагачення харчових продуктів матрицею кріомодифікованого крохмалю. *Інноваційний розвиток харчової індустрії*: зб. наук. праць за матеріалами VII Міжнародної науково-практичної конференції. Київ, 2019. С. 25-27.

9. Грабовська О. В., Авраменко А. Д., Штангеева Н. І. Використання модифікованих крохмалів для інкапсульювання аскорбінової кислоти. *Priority directions of science development: the 5 th International scientific and practical conference*. Lviv, 2020. Р. 179-183.

10. Авраменко А.Д., Грабовська О.В. Дослідження ступеню вивільнення інкапсульованої аскорбінової кислоти з кріомодифікованого крохмалю. *Наукові*

здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: матеріали 86 Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів. Київ: НУХТ, 2020. Ч.1. С. 173.

11. Avramenko A., Lukianets H. Research on degree of encapsulated ascorbic acid release from enriched. *Youth scientific achievements to the 21st century nutrition problem solution: 86 International scientific conference of young scientist and students*. Kyiv, 2020. Part 3. P. 503.

12. Грабовська О.В., Авраменко А.Д., Мирошник В.А.. Исследование микрокапсулирования аскорбиновой кислоты для обогащения пищевых продуктов. *Актуальные проблемы экологии: сборник научных статей по итогам XV международной научно-практической конференции*. Гордно, 2020 р. С. 125-127.

13. Грабовська О.В., Авраменко А.Д. Інкапсулювання біологічно активних речовин у полісахаридну матрицю для збагачення харчових продуктів. *Якість і безпека харчової продукції і сировини проблеми сьогодення: матеріали Міжнародної конференції*. Львів, 2020 р. С. 108-110.

14. Авраменко А., Грабовська О. Отримання пористого крохмалю і його використання в харчовій промисловості *Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: матеріали 87 Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів*. К.: НУХТ, 2021 р. Ч.1. С. 179.

15. Авраменко А.Д., Грабовська О.В. Перевірка кріомодифікованого крохмалю на резистентність до дії ферментів. *Інноваційні технології в готельно-ресторанному бізнесі: матеріали X Всеукраїнської науково-практичної конференції*. К.: НУХТ, 2021 р. С. 93-94.

16. Грабовська О.В., Вітряк О.П., Авраменко А.Д. Рідкий цукрозамінник для безалкогольних напоїв на основі стевії та мальтозного сиропу. *Strategy for the development of sugars and natural sweeteners: the International conference*. Kyiv, 2021. P. 111-115.

17. Авраменко А., Грабовська О. Дослідження резистентності картопляного нативного і модифікованого крохмалів. *Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: матеріали 88*

Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів. К.: НУХТ, 2022 р. Ч.1. С. 136.

18. Дарміна М., Грабовська О., Авраменко А. Майонез підвищеної поживної цінності з аквафабою. *Готельно-ресторанний та туристичний бізнес: реалії та виклики*: тези доп. Міжнар. студ. наук. конф. Київ : Держ. торг.-екон. у-т, 2022. С. 234-236.

19. Авраменко А.Д., Грабовська О.В. Використання резистентного крохмалю для створення функціональних продуктів. *Інноваційні технології в готельно-ресторанному бізнесі, присвяченої до 70-річчя з дня народження професора В.Ф. Доценка*: матеріали XI Всеукраїнської науково-практичної конференції. К.: НУХТ, 2022. С. 76-77.

20. Авраменко А., Грабовська О. Дослідження резистентності картопляного нативного і модифікованого крохмалів. *Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті*: матеріали 88 Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів. К.: НУХТ, 2022 р. Ч.1. С. 136.

21. Авраменко А.Д., Грабовська О.В. Технологія інкапсулювання для захисту біологічно активних сполук від впливу зовнішнього середовища. *Актуальні проблеми та перспективи розвитку агропродовольчої сфери, індустрії гостинності та торгівлі*: тези доповідей Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. Державний біотехнологічний ун-т, Харків, 2022. 388-389.

22. Авраменко А., Грабовська О. Дієтичні добавки на основі резистентного пористого крохмалю. *Актуальні проблеми хімії та хімічної технології*: матеріали І-ї Міжнародної науково–практичної конференції. К.: НУХТ, 2022. С. 213-214.

23. Авраменко А., Грабовська О. Кекси для спеціального дієтичного споживання з використанням збагаченого резистентного крохмалю / *Здобутки та перспективи розвитку кондитерської галузі та Інноваційні технології у хлібопекарському виробництві*: матеріали Міжнародних науково-практичних конференцій. К.: НУХТ, 2022. С. 29-33.

24. Авраменко А., Грабовська О. Резистентний крохмаль як функціональний інгредієнт. *Оздоровчі харчові продукти та дієтичні добавки: технології, якість та безпека: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції*. К.: НУХТ, 2022 р. С. 35-36.

25. Авраменко А., Грабовська О. Дослідження внутрішньої структури пористого крохмалю. *Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: 89 Міжнародна наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів*. К.: НУХТ, 2023. Ч. 1. С. 191.

26. Грабовська О., Авраменко А. Технологія кексів з використанням пористого резистентного крохмалю. *Туризм XXI століття: глобальні виклики та цивілізаційні цінності: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції*. Київ, 2023. С. 188-190.

SUMMARY

Avramenko A.D. «Technology of modified starch with encapsulation of biologically active substances for food enrichment»

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in specialty 181 Food Technologies - National University of Food Technologies of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2023.

The dissertation is devoted to the development of the technology of modified porous starch, the study of its physical and chemical properties, the substantiation of its suitability for encapsulation of biologically active substances and its use for the enrichment of food products.

Based on the analysis of the literature, it was established that the development of technology and the use of modified resistant starch in the carrier for the encapsulation of biologically active substances with the indication of their preservation from the action of undesirable factors during the preparation of health food products is a promising direction of research.

On the basis of theoretical and experimental studies, a technology of physical modification of starch has been developed, based on which starch pastes of low

concentrations (5, 10%) are frozen at a temperature of -18°C for 24 hours, followed by thawing, thawing, dehydration, grinding and drying.

Examination of the internal structure using scanning electron microscopy showed that, unlike native starches, modified starches do not have a granular structure and are part of a dried retrograded starch paste, which gives the starch a porous structure and specific properties. Analysis of the phase structure of different types of porous starch allows us to establish that with an increase in the concentration of the starch paste that was subjected to freezing, the degree of crystallinity of the porous starch increases, and this dependence is more pronounced for potato starch.

Based on studies of the sorption characteristics of modified starch, it was established that with an increase in the concentration of pastes from 5 to 20% for both potato and corn starch, the average diameter decreases, which means that the sorption properties of modified starch depend on the concentration of the paste that was subjected to freezing. When comparing samples of modified starch with native starch, it was proven that porous starch contains the largest number of micropores with a diameter of about 10 angstroms, while native starch has a maximum pore diameter of 7.7 angstroms. This is confirmed by the greater absorption and adsorption capacity of modified porous starch.

It was established that the hydrophilicity of modified starches significantly increases the hydrophilicity of native starch species. Viscographic studies have shown that when the concentration of potato starch paste is reduced from 10% to 5%, the viscosity of the modified starch suspension when heated decreases significantly. Obviously, the more bound water (non-freezing) the starch paste contains before freezing, the less it contributes to the breakdown of starch polysaccharides in freeze-thaw cycles.

On the basis of experimental studies, a principle and equipment-technological scheme for the production of porous starch was developed. The developed technology for the production of modified starch was tested at the «Vymal» PBP enterprise. Research and industrial tests of the developed technology confirmed that with low capital costs it is possible to establish the production of a new type of modified starch for encapsulation of biologically active substances.

The possibility of encapsulation of low-molecular-weight substances in the structure of porous starch was proved using the example of ascorbic acid and thymol. 60-77% of ascorbic acid is incorporated into the starch structure when the paste is frozen. The degree of its binding depends little on the concentration of the paste and the concentration of the acid. Modified starch enriched with ascorbic acid, obtained by freezing pastes with a concentration of 5 and 10%, better retains ascorbic acid with its surface. In general, corn starch binds ascorbic acid from solutions somewhat better than potato starch.

The technology of encapsulating quercetin in the structure of porous starch was developed. It was experimentally established that quercetin encapsulated in modified starch is in a non-crystalline form (or in the form of crystals with a size of less than 10–9 m) while preserving the amorphous form of porous starch. Physico-chemical studies of the obtained sorption product showed that a chemisorption-type chemical interaction can take place between starch and quercetin molecules. The conducted studies showed the possibility of obtaining water-soluble complexes of quercetin by its sorption on porous starch, which opens up prospects for the creation of P-vitamin nutritional supplements with a health-improving effect.

It has been proven that the starch, which was subjected to modification by freezing, has greater resistance to enzymatic hydrolysis than the native one. The obtained research results show that with a combination of freezing-thawing stages as a result of ice formation in pastes, retrogradation of starch polysaccharides occurs with the formation of a strong structure that is not accessible to the action of amylolytic enzymes. Testing for resistance showed that porous starch is resistant to enzymatic hydrolysis and has the properties of resistant starch of the third type RS3. The most stable is the modified starch obtained from 5% starch paste.

A method of obtaining powdered encapsulated hibiscus extract based on modified swelling potato starch has been developed, which can be used as a thickener, acidifier, and dye in the recipes of food concentrates, and the presence of vitamins, organic acids, flavonoids, and, especially, anthocyanins in the hibiscus extract increases the biological value of the finished product

The recipe for the «Novinka» cake was developed with the replacement of 30% of wheat flour with porous resistant starch. From the research results, it can be seen that with the addition of modified resistant starch to the cake recipe, the organoleptic indicators of the finished products improve compared to the «Stolichny» cake. In addition, the use of a modified RS cake recipe reduces the glycemic index by 4.79 units, and the calorie content of the product by 41.01 kcal. The consumption of one cake weighing 100 g per day satisfies the daily need for resistant starch by 24.6%.

A cake recipe was developed with the replacement of sugar in the recipe for resistant starch types with quercetin and stevia encapsulation, taken in a 1:1 ratio: one enriched with a 3% stevia solution, and the other with a 1% quercetin solution, which were introduced into 5% starch pastes. Based on the obtained data, it was established that the complete replacement of sugar with resistant starches enriched with quercetin and stevia makes it possible to obtain cakes for special dietary consumption.

A resource-saving technology of low-calorie mayonnaise sauce of increased biological value was developed with the replacement of egg whites with aquafaba - a decoction of white beans and with the addition of resistant porous starch with quercetin. The rational ratio of aquafaba and vegetable oil is substantiated as (40–.60):40, which makes it possible to obtain emulsion systems with a stability of $97 \pm 2\%$. A recipe for emulsion low-calorie sauce «Aquafaba» has been developed. The social effect of the introduction of the developed technology of low-calorie mayonnaise sauce consists in providing the population with a product of daily use of increased biological value.

The reliability of the obtained experimental data is ensured by the use of modern research methods and appropriate equipment. Scientific provisions and recommendations are confirmed by laboratory studies and production tests.

Based on the results of the dissertation work, a project of regulatory documentation was developed: technical conditions for «Modified porous starch» (TU U 15.8-02070938-315:2023), as well as technological instructions for the production of modified porous starch. Approbation of the technology of modified porous starch was carried out at the Vymal PBP, functional cupcakes "Novinka" – under the conditions of

the FOP «M.V. Kononenko», low-calorie mayonnaise sauce «AQUAFABA» - under the conditions of «Prodservice IP» LLC, which are confirmed by relevant acts .

Keywords: modification, starch, potato starch, corn starch, modified starch, freezing, technology, encapsulation, bioflavonoids, vitamins, enrichment, cakes, food emulsion, sauce, mayonnaise, quality indicators, health products.

List of publications in professional publications of Ukraine

1. Hrabovska O., Pastukh H., Avramenko A., Sabadash N. Regulation of pectin properties by combination of raw materials. *Ukrainian journal of food science*. 2020. Vol. 8, I. 2. R. 260-267. (The journal is included in the list of scientific publications of Ukraine in specialty 181 "Food technology", category; international indexing: EBSCO, Google Scholar, ROAD, CASSI, FSTA, Index Copernicus, Ulrichsweb).

2. Hrabovska O., Pastukh H., Avramenko A., Sabadash N. Effect of the combined use of β -amylase and pullulanase on the carbohydrate composition of maltose syrups. *Ukrainian food journal*. 2021. Vol. 10. I. 4. R. 761-773. (The journal is included in the list of scientific specialized publications of Ukraine, category A; international indexing: Index Copernicus, EBSCO, Google Scholar, UlrichsWeb, CABI full text, Online Library of University of Southern Denmark, DRJI, ROAD, ERIH PLUS, DOAJ, InfoBase Index, CASSI, FSTA, Emerging Sources Citation Index, Scopus).

3. Grabovska O., Sabadash N., Avramenko A., Dodonova-Sud'ina K., Pastukh G.S. Development of a prescription composition of a liquid sweetener based on stevia and maltose syrup for soft drinks. *Scientific works of the National Technical University of Ukraine*. 2021. Volume 27, No. 4. P. 141-153. (The journal is included in the list of specialized scientific publications of Ukraine, category; international indexing: EBSCO, Google Scholar, Index Copernicus).

4. Avramenko A., Grabovska O. The use of resistant starch in the technology of functional cakes. *Food Industry*. 2021. No. 30. P. 66-77. (The journal is included in the list of specialized scientific publications of Ukraine, category B; international indexing: Google Scholar, Index Copernicus).

5. Grabovska O., Vitryak O., Avramenko A. Jelly concentrate with encapsulated hibiscus extract. *Commodities and markets*. 2021. Vol. 40, No. 4. P. 122-132. *(The journal is included in the list of specialized scientific publications of Ukraine, category B; international indexing by Google Scholar, Index Copernicus, Academic Research Index ResearchBib, DRJI).*

6. Grabovska O., Avramenko A. Mayonnaise sauce based on aquafaba with encapsulated quercetin. . *Commodities and markets* 2023. Vol. 46, No. 2. P. 131-147. *(The journal is included in the list of specialized scientific publications of Ukraine, category B; international indexing by Google Scholar, Index Copernicus, Academic Research Index ResearchBib, DRJI).*

Collective monograph

7. Avramenko A., Grabovska O. Improvement of porous starch technology for encapsulation of ascorbic acid Prospective and priority directions of scientific research in technical and agricultural sciences: collective monograph, 2023. P. 239-247. DOI: 10.46299/ISG.2023.MONO.TECH.3.7.1. *(The publication has international indexing in Crossref, DOI, OUCI).*

Abstracts of reports and materials of conferences

8. Grabovska O., Avramenko A.. Encapsulation of active functional ingredients for food enrichment with cryomodified starch matrix. *Innovative development of the food industry*: coll. of science Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference. Kyiv, 2019. P. 25-27.

9. Grabovska O., Avramenko A., Shtangeeva N. Use of modified starches for encapsulation of ascorbic acid. *Priority directions of scientific development*: the 5 th International scientific and practical conference. Lviv, 2020. R. 179-183.

10. Avramenko A., Grabovska O. Study of the degree of release of encapsulated ascorbic acid from cryomodified starch. *Scientific achievements of young people - solving the problems of human nutrition in the 21st century*: materials of the 86th International Scientific Conference of Young Scientists, Graduate Students and Students. Kyiv: NUHT, 2020. Part 1. P. 173.

11. Avramenko A., Lukianets H. Research on degree of encapsulated ascorbic acid release from enriched. Youth scientific achievements to the 21st century nutrition problem solution: 86 International scientific conference of young scientists and students. Kyiv, 2020. Part 3. P. 503.
12. Grabovska O., Avramenko A., Myroshnik V. Research on microencapsulation of ascorbic acid for the enrichment of food products. *Actual problems of ecology: a collection of scientific articles based on the results of the XV international scientific and practical conference*. Gordno, 2020, pp. 125-127.
13. Grabovska O., Avramenko A. Encapsulation of biologically active substances in a polysaccharide matrix for the enrichment of food products. *Quality and safety of food products and raw materials - today's problems: materials of the International Conference*. Lviv, 2020. P. 108-110.
14. Avramenko A., Grabovska O. Preparation of porous starch and its use in the food industry. *Scientific achievements of youth - solving the problems of human nutrition in the 21st century: materials of the 87th International Scientific Conference of Young Scientists, Postgraduate Students and Students*. K.: NUHT, 2021. Part 1. P. 179.
15. Avramenko A., Grabovska O. Testing cryomodified starch for enzyme resistance. *Innovative technologies in the hotel and restaurant business: materials of the 10th All-Ukrainian Scientific and Practical Conference*. K.: NUHT, 2021. P. 93-94.
16. Grabovska O., Vitryak O., Avramenko A. Liquid sweetener for soft drinks based on stevia and maltose syrup. *Strategy for the development of sugars and natural sweeteners: the International conference*. Kyiv, 2021. R. 111-115.
17. Avramenko A., Grabovska O. Research on the resistance of potato native and modified starches. *Scientific achievements of youth - solving the problems of human nutrition in the 21st century: materials of the 88th International Scientific Conference of Young Scientists, Graduate Students and Students*. K.: NUHT, 2022. Part 1. P. 136.
18. Darmina M., Grabovska O., Avramenko A. Mayonnaise of increased nutritional value with aquafaba. *Hotel-restaurant and tourist business: realities and challenges: theses add. International study of science conf*. Kyiv: State. trade and economy u-t, 2022. P. 234-236.

19. Avramenko A., Grabovska O. Using resistant starch to create functional products. *Innovative technologies in the hotel and restaurant business, dedicated to the 70th anniversary of the birth of Professor V.F.: additional assessment: materials of the XI All-Ukrainian Scientific and Practical Conference*. K.: NUHT, 2022. P. 76-77.
20. Avramenko A., Grabovska O. Research on the resistance of potato native and modified starches. *Scientific achievements of youth - solving the problems of human nutrition in the 21st century: materials of the 88th International Scientific Conference of Young Scientists, Graduate Students and Students*. K.: NUHT, 2022. Part 1. P. 136.
21. Avramenko A., Grabovska O. Encapsulation technology to protect biologically active compounds from the influence of the external environment. *Current problems and prospects for the development of the agro-food sector, the hospitality industry and trade: abstracts of the reports of the International science and practice Internet Conf. State Biotechnology University, Kharkiv, 2022*. 388-389.
22. Avramenko A., Grabovska O. Dietary supplements based on resistant porous starch. *Actual problems of chemistry and chemical technology: materials of the 1st International Scientific and Practical Conference*. K.: NUHT, 2022. P. 213-214.
23. Avramenko A., Grabovska O. Cupcakes for special dietary consumption using enriched resistant starch. *Achievements and prospects for the development of the confectionery industry and Innovative technologies in bakery production: materials of International Scientific and Practical Conferences*. K.: NUHT, 2022. P. 29-33.
24. Avramenko A., Grabovska O. Resistant starch as a functional ingredient. *Health food products and dietary supplements: technologies, quality and safety: materials of the International Scientific and Practical Conference*. K.: NUHT, 2022, pp. 35-36.
25. Avramenko A., Grabovska O. Study of the internal structure of porous starch. *Scientific achievements of youth - solving the problems of human nutrition in the 21st century: 89th International scientific conference of young scientists, graduate students and students*. K.: NUHT, 2023. Part 1. P. 191.
26. Grabovska O., Avramenko A. Cake technology using porous resistant starch. *Tourism of the 21st century: global challenges and civilizational values: materials of the 3rd International Scientific and Practical Conference*. Kyiv, 2023. P. 188-190.

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП.....	24
РОЗДІЛ 1. СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ВИРОБНИЦТВА І ВИКОРИСТАННЯ ФІЗИЧНО МОДИФІКОВАНИХ ВИДІВ КРОХМАЛЮ.....	31
1.1. Крохмаль, як сировина для отримання харчових модифікованих крохмалів	31
1.2. Резистентний крохмаль.....	36
1.3. Аналіз способів одержання резистентного крохмалю.....	40
1.4. Використання крохмалю і його похідних у якості нейтрального носія (стінового матеріалу) для інкапсулювання БАР.....	48
1.5. Огляд способів інкапсулювання	55
1.6. Перспективи використання модифікованого резистентного крохмалю у технологіях інкапсулювання для збагачення харчових продуктів	59
Висновки за розділом 1.....	71
РОЗДІЛ 2. ОБ’ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	72
2.1. Об’єкт і предмет дослідження.....	72
2.2. Загальна схема проведення досліджень.....	73
2.3. Методи досліджень.....	75
2.3.1 Отримання модифікованого крохмалю.....	75
2.3.2 Методики досліджень отриманого модифікованого крохмалю.....	76
Висновки за розділом 2.....	84
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПОРИСТОГО КРОХМАЛЮ І ВИВЧЕННЯ ЙОГО ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ.....	85

3.1. Дослідження способу отримання пористого крохмалю. Вплив технологічних умов на вихід і властивості пористого крохмалю.....	85
3.2 Дослідження структури, фізико-хімічних і реологічних властивостей модифікованого пористого крохмалю	86
3.2.1 Дослідження внутрішньої структури.....	86
3.2.2. Дослідження змін кристалічності крохмалю при модифікації за допомогою рентгенофазового аналізу	88
3.2.3 Дослідження реологічних властивостей пористих модифікованих крохмалів.....	90
3.2.4 Визначення здатності крохмалю зв'язувати воду.....	91
3.2.5 Дослідження сорбційних властивостей модифікованого крохмалю.....	92
3.2.6. Віскографічна оцінка нативного і модифікованого крохмалів.....	96
3.2.7 Вплив концентрації крохмального клейстеру на гідрофільність пористих крохмалів	97
3.2.8. Визначення насипної густини.....	99
3.3. Розроблення апаратурно-технологічної схеми виробництва пористого крохмалю.....	101
3.4. Виробничі випробування технології і економічна ефективність виробництва модифікованого крохмалю.....	104
Висновки за розділом 3.....	107
РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОРИСТОГО КРОХМАЛЮ ЩОДО ІНКАПСУЛЮВАННЯ БАР.....	109
4.1. Дослідження сорбційних властивостей модифікованого крохмалю щодо інкапсулювання БАР.....	109
4.1.1. Дослідження інкапсулювання аскорбінової кислоти пористим крохалем.....	109

4.1.2. Визначення ступеню вивільнення інкапсульованої на модифікованому крохмалі аскорбінової кислоти.....	114
4.1.3. Дослідження інкапсульювання кверцетину пористим крохмалем.....	121
4.1.3.1. Дослідження фізико-хімічних властивостей зразків пористого крохмалю збагаченого кверцетином	123
4.1.3.2. Дослідження фізико-хімічних властивостей отриманих зразків збагаченого кверцетином пористого крохмалю.....	
4.2. Дослідження сорбційної здатності пористого модифікованого крохмалю щодо зв'язування ароматичних сполук на прикладі тимолу.....	129
4.2.1. Характеристика тимолу як представника ароматичних сполук.....	129
4.2.2 Дослідження сорбційної здатності пористого крохмалю щодо тимолу.....	130
4.3. Дослідження ступеня резистентності модифікованого крохмалю.....	132
4.4 Дослідження способів використання крохмальних похідних для інкапсульювання біологічно активних речовин.....	134
4.4.1. Дослідження інкапсульювання екстракту стевії і використання мальтозного сиропу для розроблення комплексного цукрозамінника.....	134
4.4.2. Дослідження використання пектину і модифікованого крохмалю для інкапсульювання кверцетину	140
4.4.3. Дослідження способу інкапсульювання екстракту гібіскусу у структуру модифікованого крохмалю.....	144
Висновки за розділом 4.....	148
РОЗДІЛ 5. ВИКОРИСТАННЯ ЗБАГАЧЕНОГО ПОРИСТОГО КРОХМАЛЮ У ТЕХНОЛОГІЯХ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ.....	150

5.1. Розроблення рецептури кексу функціонального призначення з використанням резистентного пористого крохмалю збагаченого кверцетином.....	150
5.1.1. Вивчення можливості часткової заміни борошна пшеничного на пористий резистентний крохмаль у рецептурі кексів.....	150
5.1.1.1. Оцінка якості кексів, виготовлених з використанням пористого резистентного крохмалю	151
5.1.2. Вивчення можливості заміни частини борошна на збагачений стевією і кверцетином резистентний крохмаль у рецептурі кексів.....	158
5.2. Розроблення рецептури низькокалорійного майонезного соусу для спеціального дієтичного споживання з використанням пористого крохмалю збагаченого кверцетином.....	161
5.2.1. Дослідження і обґрунтування рецептурного складу низькокалорійного майонезного соусу з використанням пористого крохмалю, збагаченого кверцетином	163
5.2.2. Дослідження стійкості емульсійної системи на аквафабі.....	165
5.2.3. Вивчення показників якості розробленого низькокалорійного майонезного соусу.....	168
5.3. Розроблення рецептури безалкогольного напою з використанням рідкого цукрозамінника на основі стевії та мальтозного сиропу.....	173
Висновок до розділу 5.....	178
ВИСНОВКИ.....	180
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	184
ДОДАТКИ.....	205
Додаток А. Розроблений проєкт нормативної документації.....	205

Додаток Б. Акти промислової апробації.....	207
Додаток В. Розрахунок економічної ефективності.....	213
Додаток Г. Оптимізація науково-дослідних даних.....	220
Додаток Д. Список опублікованих праць за темою дисертації.....	230

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- РК – резистентний крохмаль;
- СР – масова частка сухих речовин;
- НК – набухаючий крохмаль;
- ДТА – диференціальний термічний аналіз;
- АК – аскорбінова кислота;
- БАР – біологічно активні сполуки;
- ВМС – високомолекулярні сполуки;
- ЯМР – ядерно-магнітний резонанс;
- ПМР – протонно-магнітний резонанс;
- РФА – рентгено-фазовий аналіз;
- ГІ – глікемічний індекс;
- ДЕ – декстрозний еквівалент.

ВСТУП

Актуальність теми. Розвиток теорії збалансованого харчування, а також несприятливі екологічні умови, у яких знаходиться значна частина населення України, висуває вимоги щодо розширення асортименту харчових продуктів підвищеної харчової цінності. Їжа, яку ми вживаємо, має не лише забезпечувати організм основними поживними речовинами, а й сприяти покращенню здоров'я та підтримці фізичної форми людини, попереджувати та усувати негативні наслідки екологічних проблем та пов'язаних з цим захворювань.

Одним з найважливіших вуглеводів, що входить до складу багатьох харчових продуктів, є крохмаль. Це унікальний природний полісахарид, який щороку відновлюється в рослинах і використовується у всьому світі для різних цілей у багатьох галузях промисловості, включаючи харчову. Він є самостійним харчовим продуктом і універсальним біоматеріалом для створення цілого ряду харчових добавок, покликаних моделювати властивості харчових продуктів нового покоління. Універсальність крохмалю в промисловому застосуванні значною мірою визначається його фізико-хімічними властивостями та функціональністю. Тому, стає важливим дослідження і розроблення технологій модифікації властивостей крохмалю.

Розроблення нових модифікованих видів крохмалю і вивчення їх фізико-хімічних і структурно-механічних властивостей є необхідним для розуміння технологічних особливостей їх використання у харчових продуктах.

Одним з важливих напрямків використання модифікованих видів крохмалю у харчовій промисловості і фармації є захист чутливих інгредієнтів, таких як ароматичні олії, мінерали, вітаміни, біоактивні ліпіди, від несприятливої дії оточуючого середовища. Також, відомим є факт, що за певного оброблення нативного крохмалю він стає стійким до дії травних ферментів, тобто резистентним, і може використовуватися як замітник харчових волокон у продуктах харчування.

Науковими дослідженнями в галузі розроблення технологій модифікованих видів крохмалю і їх використання займалися вчені: О.В. Грабовська, І.В. Кузнецова, Л.М. Хомічак, О.М. Деменюк, О.Ю. Мельник, М. Shin, P. Raigond, A. Garcia-Alonso, С. Chou. Проте, в Україні не виробляють модифікований крохмаль для інкапсулювання біологічно активних речовин, а також резистентний з пребіотичними властивостями.

Розроблення технології модифікованого крохмалю для інкапсулювання біологічно активних речовин, що виявляє властивості резистентного, та створення з його використанням харчових продуктів підвищеної поживної цінності є актуальним завданням. Використання фізичних способів модифікації є пріоритетним, оскільки дозволить уникнути додаткового введення хімічних реагентів і утворення активних радикалів, що сприятиме застосуванню такого крохмалю у харчових продуктах для спеціального дієтичного споживання.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація виконана згідно плану науково-дослідної роботи кафедри технології цукру і підготовки води Національного університету харчових технологій (НУХТ) «Удосконалення технологічних процесів виробництва цукропродуктів та підготовки води» (2023-2028 рр., № державної реєстрації 0123U101513).

Мета і завдання досліджень. Метою роботи є наукове обґрунтування і розроблення технології резистентного модифікованого пористого крохмалю для інкапсулювання біологічно активних речовин та розроблення з його використанням технологій харчових продуктів оздоровчого призначення.

Для досягнення поставленої мети було сформульовано завдання дослідження:

- проаналізувати і систематизувати наукові дані з літературних джерел, щодо використання модифікованих видів крохмалю для інкапсулювання біологічно активних речовин;
- дослідити способи фізичної модифікації з метою отримання крохмалю, стійкого до дії ферментів шлунково-кишкового тракту;

- провести комплекс теоретичних досліджень щодо доцільності використання біологічно активних речовин (водорозчинних вітамінів, флавоноїдів, ароматичних речовин), інкапсульованих модифікованим крохмалем, для створення харчових продуктів підвищеної біологічної цінності;
- розробити технологію модифікованого резистентного крохмалю для інкапсульовання біологічно активних речовин (БАР);
- дослідити фізико-хімічні, структурно-механічні і функціонально-технологічні властивості отриманого модифікованого резистентного крохмалю;
- встановити ефективність використання модифікованого крохмалю для інкапсульовання аскорбінової кислоти, кверцетину і тимолу та дослідити вплив технологічних умов на ступінь сорбції цих речовин пористим крохмалем;
- дослідити можливість використання модифікованого збагаченого крохмалю для створення продуктів підвищеної біологічної, цінності;
- розробити технології продуктів з використанням збагаченого модифікованого крохмалю, проаналізувати органолептичні показники і поживну цінність готових виробів;
- провести комплекс робіт щодо розробки нормативної документації, впровадження розроблених технологій модифікованого крохмалю і продуктів з його використанням, визначення економічної ефективності виробництва пористого крохмалю для інкапсульовання БАР.

Об'єкт дослідження – технологія модифікованого пористого крохмалю для інкапсульовання біологічно активних речовин та технології борошняних кондитерських виробів (кексів) і майонезних соусів оздоровчого призначення з використанням розробленого крохмалю.

Предмет дослідження – кукурудзяний і картопляний нативні і модифіковані види крохмалю; аскорбінова кислота; кверцетин; рутин; тимол, екстракт стевії; продукти інкапсульовання БАР модифікованим крохмалем; кекс і майонезний соус.

Методи досліджень. Під час виконання дисертаційної роботи використовували загальноприйняті і спеціальні методи дослідження фізико-хімічних, структурно-механічних, сорбційних властивостей модифікованого

крохмалю, а також збагаченого модифікованого крохмалю з інкапсульованими БАР; математичні та математично-статистичні методи з використанням сучасних приладів й комп'ютерних технологій.

Наукова новизна отриманих результатів.

На основі теоретичних і експериментальних досліджень науково обґрунтовано і розроблено технологію пористого резистентного крохмалю з інкапсульованням біологічно активних речовин для збагачення харчових продуктів.

Вперше:

- встановлено, що при заморожуванні крохмальних клейстерів з подальшим їх відтаванням і зневодненням крохмаль зазнає незворотніх змін, при цьому отриманий модифікований крохмаль не має зернистої структури і являє собою частинки висушеного ретроградованого крохмального клейстеру пористої структури, що підтверджується даними скануючої електронної мікроскопії і сорбційних властивостей та доводить можливість використання даного крохмалю для інкапсульовання БАР;

- встановлено, що зі збільшенням концентрації крохмального клейстеру який піддавали заморожуванню, від 5 до 20 % зростає ступінь кристалічності пористого крохмалю і розміри внутрішніх пор у крохмалі зменшуються, що підтверджує аналіз фазової структури і вивчення його фізико-хімічних властивостей;

- встановлено, що внаслідок льодоутворення при заморожуванні крохмального клейстеру, відбувається ретроградація полісахаридних ланцюгів з утворенням міцної структури, не доступної до дії амілолітичних ферментів за типом РКЗ. Найбільшу резистентність до ферментативного гідролізу виявив пористий крохмаль, отриманий з 5%-го крохмального клейстеру;

- вивчено механізм взаємодії пористого крохмалю з кверцетином і доведено, що інкапсульований кверцетин перебуває в некристалічній формі (або у вигляді кристалів з розміром менше 10 нм) і між молекулами крохмалю та кверцетину має місце хімічна взаємодія за типом хемосорбції, що підтверджує

можливість отримання водорозчинних комплексів кверцетину і відкриває перспективи створення Р-вітамінних харчових добавок оздоровчої дії.

Набуло подальшого розвитку:

- теорія щодо ефективності інкапсулювання аскорбінової кислоти у структуру модифікованого крохмалю для захисту від зовнішніх чинників і ефективного введення у харчові продукти;

- теоретичні підходи щодо створення інноваційних збагачених харчових продуктів шляхом введення капсульованих форм вітамінів, флавонолів, ароматичних і підсолоджувальних речовин.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблено апаратурно-технологічну схему виробництва пористого модифікованого крохмалю, а також технологію збагачення пористого крохмалю біологічно активними речовинами.

Розроблено рецептури кексів підвищеної поживної і біологічної цінності з резистентним пористим крохмалем і модифікованими зразками крохмалю, збагаченими кверцетином і стевією, розраховано калорійність і глікемічний індекс отриманих виробів і проведено органолептичну оцінку якості.

Розроблено рецептуру низькокалорійного майонезного соусу підвищеної біологічної цінності з модифікованим пористим крохмалем, збагаченим кверцетином, і проведено органолептичну оцінку якості.

За результатами дисертаційної роботи розроблено проєкт нормативної документації: технічні умови на «Крохмаль модифікований пористий» (ТУ У 15.8-02070938-315:2023), а також технологічну інструкцію на виробництво модифікованого пористого крохмалю. Апробацію технології модифікованого пористого крохмалю було проведено на ПБП «Вимал», кексів функціонального призначення «Новинка» – в умовах ФОП «Кононенко М.В.», низькокалорійного майонезного соусу «AQUAFABA» – в умовах ТОВ «Продсервіс ІР», які підтверджуються відповідними актами.

Особистий внесок здобувача полягає в підборі, аналізі, систематизації літературних і патентних джерел за темою, плануванні і проведенні експериментальних досліджень, постановці задач, моделюванні технологічних

процесів отримання модифікованого пористого крохмалю, обробленні отриманих результатів, підготовці матеріалів до публікацій. Узагальнення результатів досліджень й формування висновків проведено спільно із науковим керівником, д-ром техн. наук, проф. Грабовською О.В.

Експериментальну частину роботи виконано у науково-дослідних та виробничих лабораторіях навчально-наукових закладів і підприємств галузі: кафедри технології цукру і підготовки води Національного університету харчових технологій, Інституту технічної теплофізики НАНУ, Інституту фізичної хімії НАНУ, Інституту продовольчих ресурсів НААН.

Апробація матеріалів дисертації. Основні матеріали дисертаційної роботи було представлено на: 82-89 Міжнародних наукових конференціях молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті» (м. Київ, Україна, 2016-2023); VII Міжнародній науково-практичній конференції вчених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки у вирішенні актуальних проблем виробництва та переробки сировини, стандартизації і безпеки продовольства» (м. Київ, Україна, 2017); Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Сучасні тенденції розвитку харчових технологій в умовах європейської інтеграції» (м. Київ, Україна, 2018); III Всеукраїнській науково-практичній конференції «Актуальні проблеми хімії та хімічної технології» (м. Київ, Україна, 2018); VII міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційний розвиток харчової індустрії» (м. Київ, Україна, 2019); 5th International scientific and practical conference «Priority directions of science development» (м. Львів, Україна, 2020); Збірнику наукових статей Гродно «Актуальные проблемы экологии» (м. Гродно, Білорусь, 2020); Міжнародній конференції присвяченої 80-річчю заслуженого діяча науки і техніки України, д.т.н., професора Львівського торговельно-економічного університету Сирохмана І.В. «Якість і безпечність харчової продукції і сировини – проблеми сьогодення» (м. Львів, Україна, 2020); X всеукраїнській науково-практичній конференції «Інноваційні технології в готельно-ресторанному бізнесі» (м. Київ, Україна, 2021); XI Міжнародній студентській науковій конференції

«Готельно-ресторанний та туристичний бізнес: реалії та виклики» (м. Київ, Україна, 2022); XI всеукраїнській науково-практичній конференції, присвяченій до 70-річчя з дня народження професора В.Ф. Доценка «Інноваційні технології в готельно-ресторанному бізнесі» (м. Київ, Україна, 2022); I-міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні проблеми хімії та хімічної технології» (м. Київ, Україна, 2022); Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції «Актуальні проблеми та перспективи розвитку агропродовольчої сфери, індустрії гостинності та торгівлі» (м. Харків, Україна, 2022); IX Міжнародній науково-практичній конференції «Здобутки та перспективи розвитку кондитерської галузі та інноваційні технології у хлібопекарському виробництві» (м. Київ, Україна, 2022); Міжнародній науково-практичній конференції «Оздоровчі харчові продукти та дієтичні добавки: технології, якість та безпека» (м. Київ, Україна, 2022); III Міжнародній науково-практичній конференції «Туризм XXI століття: глобальні виклики та цивілізаційні цінності» (м. Київ, Україна, 2023).

Публікації. За результатами роботи опубліковано 26 наукових праць, у тому числі 1 стаття у журналі категорії «А», 5 статей у категорії «Б»; 1 стаття у колективній монографії; 19 тез доповідей – опублікованих у матеріалах вітчизняних та закордонних науково-практичних конференцій.

Структура роботи. Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, висновків та списку використаних джерел (207 найменувань, більшість з яких датовані 2013-2023 рр.), 5 додатків. Основні матеріали дисертації викладено на 231 сторінці друкованого тексту, які містять 33 таблиці і 56 рисунків.

РОЗДІЛ 1

СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ВИРОБНИЦТВА І ВИКОРИСТАННЯ ФІЗИЧНО МОДИФІКОВАНИХ ВИДІВ КРОХМАЛЮ

Продукти харчування відповідають за забезпечення поживними речовинами (включаючи вітаміни та мінерали) і впливають на правильне функціонування організму. Проте, крім основної функції – задоволення голоду, споживачі все частіше очікують, що харчові продукти будуть виконувати додаткові функції. Велику увагу вони приділяють високій біологічній цінності та оздоровчим властивостям їжі. Щоб відповідати цим очікуванням, виробники розширюють асортимент продуктів з функціональними і оздоровчими властивостями, наприклад, пониженої калорійності або збагачених БАР, харчовими волокнами, мінеральними речовинами тощо.

Збагачення харчових продуктів вітамінами або мінералами дозволяє запобігти дефіциту поживних речовин у раціоні людини. Для збагачення харчових продуктів надають перевагу рослинній сировині, екстрактам, концентратам лікарських рослин, фруктовим порошкам, харчовим волокнам тощо. Проте, в ході технологічного процесу біологічно активні речовини (БАР) можуть руйнуватися або втрачати біологічну активність. Для збереження БАР від зовнішнього середовища при включенні у харчові продукти використовують природні високомолекулярні сполуки (ВМС), які виконують функції мікрокапсул. До таких природних високополімерів відносяться модифіковані види крохмалю, що володіють здатністю обволікувати БАР і утворювати навколо них захисний шар, або включати їх в свою структуру. Модифіковані крохмалі фізичного способу модифікації можуть бути використані як функціональні інгредієнти для збагачення харчових продуктів.

1.1. Крохмаль, як сировина для отримання харчових модифікованих крохмалів

Харчові продукти, що містять крохмаль, є багатим джерелом енергії і вживаються у вигляді основного раціону всіма верствами населення через їх

доступність і порівняно низьку вартість. Крохмаль поширений у природі полісахарид, формується в рослинах у вигляді крохмальних зерен як запасний поживний матеріал. За призначенням можна виділити три групи крохмалепродуктів:

- нативний крохмаль, який після його вилучення з рослинного джерела не піддається жодній обробці – він є білим з характерним запахом порошком;
- модифікований крохмаль – це крохмаль, у якому одну або кілька вихідних характеристик було змінено або модифіковано фізичним, хімічним, ферментативним способом або їх комбінацією;
- гідролізований крохмаль – крохмаль, у якого полімерні ланцюги розщеплено на прості цукри, такі як олігосахариди, мальтоза, глюкоза.

У всьому світі основними джерелами крохмалю є кукурудза (73%), тапіока (11%) пшениця (9%), картопля (6%) та інші (2-3%). Крохмаль має широкий спектр застосування в різних галузях промисловості, таких як паперова, фармацевтична, харчова тощо. США є основним виробником крохмалю, за яким йдуть країни Європи та Азії. На даний момент 52% крохмалю використовується в харчовій промисловості (кондитерські вироби, напої та інші оброблені харчові продукти), а 48% крохмалю використовується не харчовою промисловістю (фармацевтика, виробництво паперу, кормів та інші цілі) [1].

Виробництво кукурудзяного крохмалю і продуктів його переробки в Україні зосереджене на двох підприємствах на Дніпропетровщині: ПрАТ «Дніпровський крохмалепатоковий комбінат» і ПрАТ «Інтеркорн корн просессінг індастрі», які є основними експортерами цієї продукції в Азію і на Близький Схід. У 2020 році трійку найбільших імпортерів українського кукурудзяного крохмалю склали Індонезія, ОАЕ і Саудівська Аравія, охопивши 46% загального обсягу експорту [2].

Найбільшим виробником і експортером картопляного крохмалю є ПБП «Вимал», розташоване у Чернігові. Через нестачу кондиційної вітчизняної сировини і відсутності державних дотацій, крохмальні підприємства змушені купувати картоплю значно дорожче, ніж на подібних підприємствах Європи, що

підвищує собівартість продукції і знижує конкурентоспроможність українського картопляного крохмалю на світовому ринку.

Крохмаль формується у вигляді гранул в хлоропластах зеленого листя рослин та амілопластах бульб і зерен. Крохмальні гранули мають напівкристалічну структуру і вважаються сферокристалами. Хімічно крохмаль (рис. 1.1) складається з двох полісахаридів — амілози, що зосереджена в основному в аморфних зонах крохмальних зерен, і амілопектину, що формує кристалічний (впорядкований) каркас крохмального зерна. І амілоза, і амілопектин складаються з мономерних ланок глюкози. Амілоза є лінійним полімером, у якому мономерні ланки з'єднані α -D-(1-4) глікозидними зв'язками, що становить приблизно 20-30 % загального крохмалю, тоді як амілопектин є полімером з розгалуженим ланцюгом: з α -D-(1-4) глікозидними зв'язками в основному ланцюгу і α -D-(1-6) в місцях розгалужень. Властивості крохмалю, отриманого з різних видів рослин, суттєво різняться через різницю у співвідношенні амілози і амілопектину, типу кристалічності, наявності супутніх домішок [3, 4, 9].

Амілоза і амілопектин складають приблизно 98–99% сухої маси крохмалю [5]. Співвідношення двох полісахаридів зазвичай змінюється залежно від рослинного походження крохмалю. Згідно класифікації крохмаль поділяють на той, що містить менше 15% амілози – амілопектиновий; що містить 20–30% амілози – «нормальний» і понад 30% амілози – високоамілозний крохмаль [6].

Амілоза впливає на «пакування» амілопектину в кристаліти та організацію кристалічних ламелей в гранулах крохмалю. Це є важливим для формування властивостей, пов'язаних із здатністю до гідратації полісахаридних молекул, таких як набрякання та клейстеризація. Крім того, зміна вмісту амілози в крохмалі залежно від ботанічного джерела, впливає на розподіл зерен за розмірами, молекулярні характеристики амілози та амілопектину і функціональні властивості, такі як температура клейстеризації та в'язкість клейстеру. Іншим важливим чинником, який визначає певні властивості крохмалю, є довжина ланцюгів амілопектину і ступінь їх розгалуження, який змінюється залежно від ботанічного

джерела. Крохмалі з більшим вмістом амілози можуть утворювати більш стабільні амілозо-ліпідні комплекси. Ці комплекси впливають на термодинамічні властивості та здатність до утворення драглів [7].

Існує кореляція між вмістом амілози та формуванням резистентного крохмалю. Лінійні ланцюги амілози зв'язані один з одним водневими зв'язками по всій довжині, що робить їх менш доступними для гідролізуючих чинників, якими є також і ферменти [8]. Висока частка розгалужених молекул амілопектину в зернах крохмалю створює більшу поверхню, що покращує доступність ферментів і сприяє амілолітичному гідролізу полісахаридів до цукрів. Повідомлялося, що засвоюваність крохмалю з високим вмістом амілози *in vitro* та *in vivo* нижча, ніж звичайних крохмалів [9].

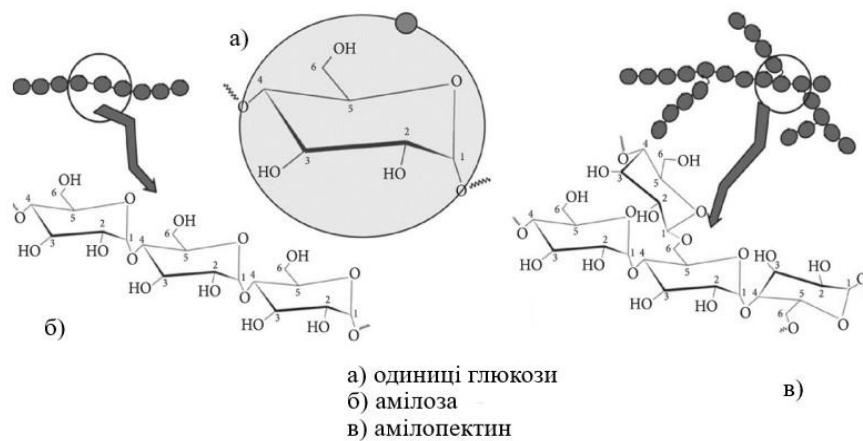


Рис.1.1. Структура крохмалю [9]

Крохмаль можна класифікувати на основі отриманої дифракції рентгенівських променів за типом кристалічності, харчовими характеристиками і поділити на такі категорії:

- тип А має амілопектин з довжиною ланцюга 23–29 одиниць глюкози, меншою кількістю зв'язаних молекул води, наприклад, крохмаль злаків;
- тип В має амілопектин з довжиною ланцюга 30–44 одиниці глюкози, значно більшою кількістю зв'язаних молекул води, наприклад, бульбові та багаті амілозою крохмалі;
- тип С – суміш типу А і В, що містить амілопектин з довжиною ланцюга 26–29 молекул глюкози, наприклад, крохмаль бобових;

- тип V присутній у набряклих гранулах і утворюється при клейстеризації.

Залежно від харчових характеристик крохмалів можна розділити на три групи:

- швидкозасвоюваний крохмаль: в основному складається з аморфного крохмалю, який міститься у щойно приготованих продуктах, таких як варена картопля, хліб тощо. Хімічно вирізняється як крохмаль, що перетворюється на глюкозу ферментами шлунково-кишкового тракту, через 20 хвилин після прийому їжі, оскільки при приготуванні крохмаль клейстеризується і стає більш доступним до ферментативного гідролізу;

- повільно засвоюваний крохмаль: складається з кристалічних структур типу А і С разом з аморфними областями, що знаходяться у злакових рослинах у вигляді гранул, та і у вигляді ретроградованих форм. Повільне перетравлювання пояснюється складністю його структури. Хімічно він вирізняється як крохмаль, що перетворюється на глюкозу ферментами через 100...110 хвилин після прийому їжі;

- резистентний крохмаль (РК): цей тип крохмалю не перетравлюється навіть через 120 хвилин після прийому їжі. Однак, він сприяє нормалізації мікрофлори кишечника, тому його також називають дієтичним крохмалем [10].

Крохмаль, який використовується в харчовій промисловості, може мати як природні властивості, так і цілеспрямовано змінені хімічним, фізичним чи біохімічним способом. Модифікований крохмаль відносять до харчових добавок і в процесі модифікації змінюють одну або декілька його фізико-хімічних характеристик: здатність до гідратації, клейстеризації, драглеутворення, плівкоутворення тощо. Ця зміна не є генетичною, оскільки при вирощуванні генномодифікованих рослин використовують сучасні методи генної інженерії, при яких відбуваються зміни генетичного коду [11].

Відомі способи модифікації крохмалю, які використовуються в харчовій промисловості, поділяються на фізичні, хімічні та біохімічні (за допомогою ферментів) та комбіновані. Модифікація призводить до зміни властивостей

крохмалю, що, своєю чергою, змінює споживчі характеристики готових продуктів, де його використовують:

- зниження або підвищення рівня в'язкості готового продукту;
- можливість навіть при багаторазовому розморожуванні та заморожуванні продукту зберігати його споживчі властивості без зниження якості;
- зменшення або збільшення часу желатинізації готового продукту;
- зміни текстури;
- збільшення терміну зберігання та багато інших властивостей [12, 13].

Отже, розробка нових видів модифікованого крохмалю для виробництва харчових продуктів є актуальним завданням на сьогодні, оскільки нативні крохмалі мають обмежені властивості.

1.2. Резистентний крохмаль

До початку 80-тих років минулого століття вважалось, що крохмаль повністю розщеплюється в кишечнику людини. У 1892 році Енгліст та співавтори вперше встановили, що в крохмалі присутня фракція, стійка до ферментативного гідролізу. Спочатку під терміном «резистентні крохмалі» (РК) розуміли крохмалі, які не повністю розщеплюються *in vitro* і є складовими харчових продуктів, що зазнали термічної обробки і були охолоджені. Зараз цей термін використовують по відношенню до всіх крохмалів і продуктів його розкладання, які у пересічних людей не розщеплюються в тонкому кишечнику і проникають у товстий кишечник, де метаболізуються мікрофлорою останнього [14].

Згідно із загальноприйнятою класифікацією харчові крохмалі поділяються на дві групи – глікемічні і резистентні [15].

1. До глікемічних відносять крохмалі, які в шлунково-кишковому тракті гідролізуються ферментами до молекул глюкози і поділяються на швидко розщеплювальні (ШРК) та повільно розщеплювальні крохмалі (ПРК).

Резистентні крохмалі не розщеплюються ферментами навіть після 120 хвилин інкубації. Проте, їх руйнують травні ферменти до жирних кислот, які

допомагають знизити рівень рН в товстому кишечнику і гальмують утворення вторинних жовчних кислот.

Споживання резистентного крохмалю призводить до поліпшення багатьох функцій організму людини: активізує діяльність мікроорганізмів у кишечнику, зменшує ризик появи злоякісних пухлин, зменшує рівень холестеролу крові тощо [16].

Чинники, які визначають, чи є крохмаль стійким до перетравлювання, включають фізичну форму зерен, в яких міститься крохмаль, особливо якщо вони повністю або частково зруйновані, розмір і тип крохмальних гранул, зв'язки між крохмалем та іншими харчовими компонентами, а також приготування та переробку харчових продуктів, особливо спосіб приготування та охолодження. Засвоюваність крохмалю рису та пшениці підвищується при подрібненні в борошно.

Як харчовий інгредієнт, РК має нижчу калорійність (8 кДж/г), порівняно з повністю засвоюваним крохмалем (15 кДж/г), однак його можна включати в широкий спектр основних харчових продуктів, таких як борошняні кондитерські вироби, випічка, без впливу на спосіб обробки або загальний вигляд і смак продукту.

Якщо порівнювати у відсотках від загального вмісту крохмалю, картопляний крохмаль має найвищу концентрацію РК, а кукурудзяний — найнижчу. Сирий картопляний крохмаль містить 75 % РК у відсотках від загального крохмалю. Крохмаль коренебульбоплодів, таких як картопля, має тенденцію виявляти структуру кристалічності типу В, яка є достатньо стійкою до перетравлення.

На сьогодні вирізняють п'ять видів стійкого крохмалю.

Тип 1. Крохмаль синтезується в ендоспермі зернових культур, а гранули крохмалю оточені білковим матриксом і матеріалом клітинної стінки. Ці фізичні структури перешкоджають засвоюваності крохмалю та знижують глікемічну «відповідь» організму. При приготуванні у вигляді цілих ядер або крупно подрібненого борошна товста клітинна стінка бобових і білкова матриця в зернах злаків запобігають проникненню води в крохмальну матрицю. Тому, крохмаль не

має достатньої вологи, щоб легко набрякати та клейстеризуватися. Без належного набрякання крохмаль важче піддається ферментативному гідролізу. Матеріал клітинної стінки та білковий матрикс також створюють фізичний бар'єр, запобігаючи проникненню ферментів і гідролізу крохмалю. Прикладами харчових продуктів, що містять стійкий крохмаль, типу 1 є хліб, виготовлений з цілих або грубоподрібнених ядер зерна і макарони, виготовлені з твердих сортів пшениці шляхом екструзії.

Тип 2. Необроблений картопляний крохмаль, зелений банановий крохмаль, крохмаль гінкго та кукурудзяний крохмаль з високим вмістом амілози, які демонструють поліморфний тип В або С, мають високу стійкість до ферментативного гідролізу і є прикладами резистентного крохмалю типу 2 (РК2). Однак після приготування велика частина крохмалю, наприклад, у запеченій картоплі та вареному банані, стає добре засвоюваною в результаті клейстеризації крохмалю та втрати кристалітів В- і С-типу. Виняток становить високоамілозний крохмаль, що утворюється в результаті мутації гена – подовжувача амілози і гена, що кодує фермент розгалуження крохмалю 1 типу, який має значно довші розгалужені ланцюги проміжних компонентів і більшу частку амілози (18–20). Таким чином, цей крохмаль має високу температуру клейстеризації, вищу за температуру кипіння води. Після кип'ятіння або варіння при температурі нижче температури клейстеризації, цей тип крохмалю зберігає свою кристалічну структуру і залишається стійким до ферментативного гідролізу.

Тип 3. Резистентний крохмаль типу 3 (РК3) – це ретроградована амілоза та крохмаль. Оскільки молекули амілози мають лінійну структуру, вони мають тенденцію до утворення подвійних спіралей, особливо поблизу температур охолодження (4–5 °С) і з достатнім вмістом вологи. Ретроградована амілоза має високі температури клейстеризації, до 170 °С, і не може бути дисоційована під час варіння. Температура клейстеризації ретроградованої амілози знижується зі скороченням довжини ланцюга амілози. Після зберігання крохмалистих продуктів, зокрема в холодильнику, молекули амілози та довгі розгалужені ланцюги амілопектину утворюють щільні структури і втрачають здатність зв'язувати воду.

Утворені за рахунок водневих зв'язків щільні структури крохмалю не вписуються в ділянку ферментативного зв'язування α -амілазою, тому вони не можуть гідролізуватися цим ферментом.

Тип 4. Резистентний крохмаль 4 типу (РК4) – це хімічно модифікований крохмаль, утворений або шляхом зшивання полісахаридних ланцюгів, або шляхом додавання хімічних похідних. Крохмаль з високим рівнем зшивання втрачає здатність набрякати при варінні. Отже, сильно зшитий крохмаль залишається в гранульованому вигляді після приготування, з невеликою ферментативною чутливістю, і не може бути гідролізований амілазами або ферментований мікроорганізмами. Додавання хімічного похідного до крохмалю, такого як октеніл бурштинова кислота або ацильні групи, змінює структуру крохмалю і частково обмежує ферментативний гідроліз, що призводить до утворення резистентного крохмалю. Ділянка крохмалю без похідного може бути гідролізована бактеріальними амілазами та ферментована з утворенням коротколанцюгових жирних кислот.

Тип 5. Коли крохмаль взаємодіє з ліпідами, амілоза та довгі розгалужені ланцюги амілопектину утворюють односпіральні комплекси з жирними кислотами та жирними спиртами. Коли лінійний ланцюг крохмалю знаходиться у спірально-комплексній структурі з жирною кислотою в порожнині спіралі, зв'язування крохмалю та його розщеплення амілазою не відбуваються. Крім того, амілозо-ліпідний комплекс також взаємодіє з молекулами амілопектину, обмежуючи набрякання крохмальних гранул і гідроліз ферментами. Оскільки утворення амілозо-ліпідного комплексу є миттєвою реакцією, комплекс може реформуватися після приготування у стійкий крохмаль типу 5 (РК5), який вважається термічно стабільним.

Важливо знати, що на засвоюваність крохмалю впливають некрохмальні компоненти структури крохмалю та обробка крохмалю перед травленням. Засвоюваність крохмалю ніколи не залежить від одного чинника, як припускають системи класифікації. Скоріше, для класифікації крохмалю зазвичай використовується зовнішній чинник з найбільшим впливом на засвоюваність.

Структура крохмалю складна і варіюється в широких межах, однак єдиним структурним аспектом, що має найбільший вплив на засвоюваність, є ступінь і тип кристалічності всередині гранули. Крохмаль з довгими лінійними ланцюгами має більшу схильність до утворення кристалічних структур, ніж крохмаль з короткими, сильно розгалуженими ланцюгами. Оскільки амілозний компонент крохмалю менш розгалужений, ніж амілопектин, високоамілозний крохмаль, як правило, більш стійкий до перетравлення, ніж крохмаль з низьким вмістом амілози [17, 18].

З аналізу літературних джерел можемо зробити висновок, що використання резистентних крохмалів є перспективним напрямком збагачення продуктів харчовими волокнами без значного впливу на якісні характеристики готових виробів.

1.3 Аналіз способів одержання резистентного крохмалю

Резистентний крохмаль можна виготовити за допомогою термічної, ферментативної, термічної обробки з ферментами та хімічної обробки вихідного крохмалю.

Цикли нагрівання і охолодження

Для підвищення вмісту резистентного крохмалю використовуються повторні цикли нагрівання та охолодження. Резистентний крохмаль також може бути отриманий іншим способом, який включає клейстеризацію крохмалю, ферментативний гідроліз, дезактивацію ферменту розгалуження та виділення отриманого продукту шляхом сушіння, екструзії або кристалізації. Для виробництва РКЗ доступні різні способи виконання циклів нагрівання та охолодження.

Shin та ін. розробили спосіб виготовлення РК шляхом варіння під тиском дисперсії крохмалю (30% мас./об.) при 121 °C протягом 1 години в автоклаві та охолодження при кімнатній температурі з подальшим зберіганням при 48 °C протягом доби. Той самий процес нагрівання та охолодження повторюється кілька разів, щоб отримати більший вміст РКЗ. Іншим способом отримання РКЗ є нагрівання суспензії пшеничного крохмалю у воді (20 % мас./мас.) при температурі

100 °C протягом 16 годин з подальшим висушуванням на повітрі. Вміст РК, перевірений як харчові волокна, у зразку РК3 становив 10,4 %, а в РК3 з термовологою обробкою — 12,9 % [19].

Raigond та ін. з'ясували що зберігання вареної картоплі при 4 °C протягом 48 годин підвищувало вміст РК до 63% [20].

Garcia-Alonso та ін. дослідили що клейстеризація крохмалю при 120 °C протягом 20 хвилин з подальшим охолодженням до кімнатної температури також дає велику кількість РК [21].

Sajilata та ін., було доведено що охолодження клейстеру водно-крохмальної суспензії (співвідношення варіюється від 1:2 до 1:20) призведе до ретроградації амілози та одержання принаймні 50 % вмісту РК. Серед параметрів цих обробок температура 134 °C, 4 цикли нагрівання-охолодження та співвідношення крохмаль:вода як 1:3,5 дали найкращий результат [22].

Більший вихід РК було отримано Chou та ін. з крохмалів, оброблених в автоклаві високого тиску, порівняно з крохмалю, обробленими у водяній бані за температури 90 °C [23].

Вологотермічна обробка

Відпал і вологотермічна обробка є фізичними модифікаціями, які змінюють фізико-хімічні властивості крохмалю без руйнування структури його гранул. В обох типах обробки необхідно контролювати температуру та час нагрівання, і обидва види обробки базуються на співвідношенні крохмалю та вологи. Відпал відбувається при надлишку води (понад 40 %) і низькій температурі (нижче температури клейстеризації), тоді як вологотермічне оброблення здійснюється при обмеженому вмісті вологи (10-30 %) і більш високих температурах (90-120 °C) [24].

Brumovsky і Thompson виявили, що термостабільний гранульований РК може бути отриманий шляхом часткового кислотного гідролізу кукурудзяного крохмалю з високим вмістом амілози, де частковий кислотний гідроліз посилює ефект гідротермічної обробки. Вологотермічна обробка – техніка фізичної модифікації, яка є природною і, отже, безпечнішою, ніж хімічна модифікація. Обидва типи

гідротермічних оброблень підвищують рівень РК, не порушуючи його зернисту структуру [25].

Зерниста структура втрачається через поєднання клейстеризації та плавлення при вологості від 40 до 60 %. Щоб зберегти початкову структуру гранул, температуру необхідно підтримувати нижче температури клейстеризації, і цей процес відомий як обробка відпалом. Високий вміст РК очікується внаслідок підвищеної стабільності гранул, отриманої гідротермічною обробкою [26]. Відпал підвищує ступінь кристалічності, зміцнює кристалічні форми гранул і впорядковує ланцюги крохмалю як в кристалічному, так і в аморфному шарі. Компоненти крохмалю взаємодіють і стабільність гранул підвищується. В результаті цього знижується розчинність і здатність до набрякання крохмалю, а резистентність гранул до активності амілолітичних ферментів підвищується [27].

Lee та ін обробили воскоподібний картопляний крохмаль (0 % амілози) при 20-25 % вологи протягом 1, 5 і 9 годин при 110, 130 і 150°C і отримали максимальний вміст РК (66,8 %) за комбінації параметрів – 20 % вологи, температура 110 °C і тривалість обробки 5 годин [28].

Збільшення вмісту РК після вологотермічної обробки крохмалів кукурудзи, гороху та сочевиці до 7.7, 2.3 та 5.6 % відповідно, було відмічено Chung та ін. Вони також порівняли вплив вологотермічної обробки та обробки відпалом на формування вмісту РК. Вміст резистентного крохмалю збільшувався на 0.3, 1.3 і 1.6 % завдяки відпалу, тоді як вологотермічна обробка збільшувала його вміст на 1.7, 4.7 і 5.0 % у клейстеризованому крохмалі гороху, сочевиці та квасолі відповідно [29].

Simsek та ін. спостерігали збільшення вмісту РК у пінто та чорних бобах на 39.7 % та 19.7 % відповідно після відпалу, під час якого зразки обробляли при 50 °C протягом 24 годин при вмісті 50 % вологи [30].

Dupuis та ін. дослідили, що вологотермічна обробка та обробка відпалом забезпечують більш високий вміст РК у клейстеризованих зразках, якщо їх використовувати разом [31].

Jiranuntakul та ін. довели що вологотермічна обробка (25 % вологи, 100 °С, 16 годин) крохмалю звичайної та воскоподібної кукурудзи, рису та картоплі збільшила вміст РК з 27 до 40,3 % у крохмалі воскоподібної кукурудзи, тоді як така сама обробка знизилася вміст РК на 4,7-29,7 % у природному кукурудзяному, рисовому та картопляному крохмалях [32].

Декстринізація крохмалю відбувається під час сухого нагрівання крохмалю при високій температурі з додаванням або без додавання кислоти. Властивості декстринів, отриманих під час цього процесу, залежать від рослинного походження крохмалю, і деякі з них, отримані за певних умов, демонструють властивості РК. Wang та ін. встановили, що чим вищий ступінь декстринізації та тривалість процесу, тим більша стійкість декстринів до ферментативного гідролізу [24, 33].

Екструзія

Екструзія є широко використовуваною технікою обробки харчових продуктів. Це короткотривалий високотемпературний процес, який в основному використовується для виготовлення харчових продуктів різної форми [34].

Agustiniano-Osornio та ін. довели, що це не просто техніка обробки, але й потенціал для збільшення вмісту РК у харчових продуктах. Це може бути пов'язано з тим, що висока сила зсуву в екструдері викликає деполімеризацію з наступним термічним розщепленням молекули крохмалю, що дає прямі ланцюги, які більш схильні ретроградації [35].

Nasjim і Jane досліджували вплив двошнекової екструзії на вміст РК у кислотномодифікованому кукурудзяному крохмалі. Звичайний кукурудзяний крохмаль мав вміст РК 11,0 %, а після кислотного гідролізу з подальшим екструзійним обробленням з низьким або високим зсувом вміст РК збільшився до 19,0 % і 20,0 % відповідно [36].

Bello-Perez і Paredes-Lore повідомили, що при рівні вологості кукурудзяного крохмалю 12-18 % не було значного впливу екструзії на збільшення вмісту РК, тоді як при рівні вологості до 20 % вміст РК збільшився після екструзії [37].

Chanvriat та ін. спостерігали незначне збільшення вмісту крохмалю, стійкого до дії ферментів, для пшеничного крохмалю (з 0,8 % до 2,8 %) і кукурудзяного крохмалю (з 1,5 % до 2,1 %) після екструзії [38].

Важливо відзначити, що спостереження щодо впливу екструзії на вміст РК у крохмалях є суперечливими. Численні дослідження повідомляли про зниження вмісту РК (або підвищення засвоюваності) після екструзії та пояснювали це руйнуванням зернистої структури внаслідок термічної обробки, високого тиску та зсувних сил. Цей конфлікт може бути пов'язаний із взаємодією між харчовими компонентами в різних харчових матрицях, які можуть відрізнитися залежно від складу харчових продуктів, складу інгредієнтів та умов екструзійної обробки [39].

Теплова та ферментна обробка

Щоб збільшити вміст РК, можна спробувати одночасну обробку теплом і ферментом, а також комбінацію хімічної та ферментативної модифікації. Аморфну область ретроградного крохмалю можна видалити за допомогою ферментативної або хімічної обробки. Прикладом одночасної термічної та ферментної обробки є обробка клейстеризованого крохмалю ферментом пуллулазазою та виділення продукту шляхом сушіння або екструзії [31].

У запатентованому процесі Haralampru і Gross пояснили вміст РК контрольованою термічною обробкою крохмалю для досягнення набрякання зі збереженням його зернистої структури, за яким далі слідували ферментативне руйнування розгалуження, відпал і сушіння за відповідної температури. Крохмаль з менш розгалуженим амілопектином отримують обробкою клейстеризованого крохмалю ферментами, що руйнують розгалуження, такими як ізоамілаза або пуллулаза, і осадженням крохмалю [40].

Sajilata та ін., 2006 довели, що додавання неорганічної солі до розгалуженого крохмалю перед виділенням додатково збільшує вміст РК [22].

Zhang і Jin стверджують що збільшення вмісту РК також можна отримати шляхом руйнування розгалуження амілопектину картоплі за допомогою пуллулазази перед циклами нагрівання та охолодження та гідролізу кукурудзяного крохмалю за допомогою пуллулазази [41].

Ферментативна обробка.

Ферменти використовуються для зменшення молекулярної маси та зменшення розгалуження амілопектину, оскільки менша молекулярна маса та менш розгалужений амілопектин можуть збільшити вміст РК [42]. Ферментативна обробка крохмалю збільшить кількість амілози, яка утворює щільно упаковану кристалічну структуру і, отже, є більш стійкою до ферментативного гідролізу. Дерозгалужувальні ферменти, такі як пуллуланаза та ізоамілаза, можуть розривати лише α -1,6 глікозидні зв'язки в точці розгалуження на амілопектині та збільшувати вміст амілози в молекулі крохмалю. α -Амілаза та β -амілаза також можуть бути використані для розриву α -1,4 глікозидних зв'язків. Обидва ці ферменти діють на різні ділянки молекул крохмалю. α -Амілаза розриває всі α -1,4 глікозидні зв'язки, крім зв'язків поблизу точок розгалуження, і вивільняє мономери глюкози. У той час, як β -амілаза вивільняє одиниці мальтози, діючи на всі інші глікозидні зв'язки α -1,4 з невідомого кінця амілопектину або амілози. Оскільки ферментативна обробка проводиться для гідролізу розгалужень ланцюга амілопектину, пуллуланаза та ізоамілаза частіше використовуються для збільшення вмісту РК порівняно з α та β -амілазами. Руйнування розгалуження амілопектину дає високий вміст амілози, яка утворює більше кристалічних структур і, нарешті, збільшує загальний вміст РКЗ [31]. Основна роль ферменту α -амілази полягає в розриві всіх α -1,4 глікозидних зв'язків крохмального ланцюга і, отже, у швидкому зниженні в'язкості крохмального клейстеру. Оскільки додавання α -амілази негативно впливає на в'язкість крохмального клейстеру, утворення кристалічних ділянок ретроградованої амілози ускладнюється [43].

Хімічна модифікація

Під час хімічної модифікації крохмалю хімічні реагенти блокують доступ ферментів і утворюють нетипові зв'язки, а отже, не перетравлюються. Під час хімічної обробки крохмалю зміни молекулярної структури сприяють розвитку високого вмісту РК. Перехресне зшивання зазвичай використовується для покращення функціональних властивостей і стабільності крохмального клейстеру

при заморожуванні, відтаванні та холодному зберіганні. Перехресне зшивання додає випадковим чином між- та внутрішньомолекулярні зв'язки між молекулами полісахаридів, які стабілізують і зміцнюють гранулу крохмалю [44, 45]. Застосування хімічної модифікації, а саме перехресного зшивання для виробництва РК з використанням звичайних крохмалів із кількох ботанічних джерел було описано Seib та Woo [46, 47]. Для приготування зшитого крохмалю гранульований крохмаль обробляють багатофункціональним реагентом, який може утворювати ефірні або складноефірні зв'язки між гідроксильними групами в молекулі крохмалю [45].

Підкислення, етерифікація та зшивання є трьома типовими хімічними модифікаціями для отримання РК [43].

Кислотна модифікація

Koksel та ін. провели дослідження, у яких за кислотною модифікацією слідували автоклавування, а потім ретроградація для збільшення вмісту РК. У цьому випадку кислота спочатку гідролізує аморфні частини гранул крохмалю, а потім гідролізує кристалічну область, що призведе до утворення коротших ланцюгів, які будуть дезорганізовані під час автоклавування та, нарешті, переорієнтовані, щоб утворити більш упорядковану структуру подвійної спіралі під час обробки і ретроградації, яка б перешкождала гідролізу ферментами [48].

Хіе і Ліу довели, що хімічна обробка кукурудзяного крохмалю лимонною кислотою з подальшим сухим нагріванням при 140 °C протягом 7 годин і потім нагріванням при 100 °C на киплячій водяній бані дає вміст РК 68,3 % [49]. Набряклі крохмальні ланцюги, що утворюються під час термічної обробки, більш схильні до впливу лимонної кислоти. Під час цього процесу ангідрид лимонної кислоти замінює гідроксильні глюкани крохмальних ланцюгів, які протистоять травленню амілолітичними ферментами. Зазвичай термічна кислотна обробка сприяє утворенню РК, але висока інтенсивність цієї обробки може зруйнувати структуру, стійку до травлення, що робить її сприйнятливою до амілолізу. Ліу та ін. повідомили про збільшення на 35,62 % РК, отриманого за допомогою термічної обробки та обробки лимонною кислотою кукурудзяного крохмалю [50].

Перехресне зшивання

Засвоюваність крохмалю знижується шляхом заміни гідроксильних груп крохмалю на цитрил, ацетил, октенілсукциніл і гідроксипропіл [49, 51, 52].

Крохмаль зшивається гідроксильними групами фосфатних і сульфонатних груп [53]. Такі реагенти, як трифосфат натрію або його суміш із триполіфосфатом натрію, можна використовувати для зшивання глюканів для отримання РК [54]. Хімічні та функціональні властивості зшитого крохмалю залежать від джерела крохмалю, умов реакції, таких як час, температура, рН тощо, а також типу та концентрації зшиваючого реагенту [55].

Futch визначив, що і температура, і рН збільшували вміст РК у зшитому кукурудзяному та пшеничному крохмалях. Вміст резистентного крохмалю в зшитому кукурудзяному та пшеничному крохмалі становив 80,4 % та 83,9 % відповідно [56]. Kahraman та ін. встановили що оптимальними умовами для виробництва зшитого пшеничного крохмалю були 38°C і рН 12, а для зшитого кукурудзяного крохмалю — 70 °C і рН 12 [54].

Як правило, після хімічної модифікації модифікований крохмаль стає недоступним для амілолітичних ферментів. Завдяки стійкості до амілолізу ацетильований ретроградований крохмаль розглядають, як одну з форм РК. На його властивості в основному впливає ступінь заміщення та сировина, що використовується для етерифікації. Окрім ацетилування, стійкість крохмалю до амілолізу можна підвищити за допомогою гідроксипропілювання, термічного оброблення з гліцином і зшивання за допомогою епіхлоргідрину [57].

Обробка гідростатичним тиском.

Обробка гідростатичним тиском — це нетермічний метод обробки харчових продуктів, при якому для обробки харчових продуктів використовується високий гідростатичний тиск від 200 до 600 МПа. За такої обробки вода використовується як середовище, що передає тиск [58].

Deng та ін. вивчали вплив безперервної або двоциклової обробки високим гідростатичним тиском (200 і 600 МПа) на мікроструктуру та засвоюваність рисового крохмалю. Дослідники виявили, що при обробці за 600 МПа крохмаль

значно змінює мікроструктуру та знижує вміст РК у порівнянні з обробкою при 200 МПа [59]. Кукурудзяний крохмаль з високим вмістом амілози (близько 50 % вмісту амілози), клейстеризований при високому тиску та температурі (10,3 МПа, 110°C) і ретроградований протягом 24 годин, дав 11,7 % вмісту РК [60].

Задачею нашого дослідження є пошук способу отримання крохмалю, який був би резистентним до дії травних ферментів і водночас виконував функції стінового матеріалу для інкапсулювання біологічно активних сполук. З цієї точки зору цікавим є дослідити фізичні методи модифікації крохмалю, оскільки вони не потребують спеціальної обробки хімічними реагентами і дають змогу отримати крохмаль з високим ступенем резистентності. Проаналізувавши методи отримання резистентного крохмалю, було зроблено висновок про актуальність дослідження технології РК з використанням клейстеризації крохмального клейстеру і подальшого його заморожування, відтавання і зневоднення, а також вплив такої обробки на вміст резистентного крохмалю.

1.4. Використання крохмалю і його похідних у якості нейтрального носія (стінового матеріалу) для інкапсулювання БАР

Інкапсуляція – це процес, при якому молекули біологічно активних речовин обволікуються молекулами нейтрального матеріалу в однорідну або гетерогенну матрицю для отримання мікрокапсул. Інкапсуляція може забезпечити фізичний бар'єр між основною сполукою та іншими компонентами продукту. Серцевина, або ядро, може складатися з одного або декількох інгредієнтів, а стінка може бути одношаровою або двошаровою. Утримання цих ядер регулюється їх хімічною функціональністю, розчинністю, полярністю та летючістю [61].

Шахіді та Хан запропонували шість причин застосування інкапсулювання у харчовій промисловості [62]:

- зменшення реактивності ядра щодо чинників навколишнього середовища;
- зменшення швидкості перенесення основного матеріалу у зовнішнє середовище;

- сприяння більш легкому засвоєванню;
- можливість контролювання вивільнення основного матеріалу;
- маскування смаку основи;
- можливість розбавити основний матеріал, коли його потрібно використовувати в дуже невеликих кількостях.

У своєму найпростішому вигляді мікрокапсула – це невелика сфера з рівномірною стінкою навколо неї. Матеріал всередині мікрокапсули називають серцевиною (ядром) або внутрішньою фазою, тоді як стінку іноді називають оболонкою, покриттям, стіновим матеріалом або мембраною. Практично ядро може представляти собою кристалічний матеріал, емульсію, суспензію твердих речовин або суспензію менших мікрокапсул.

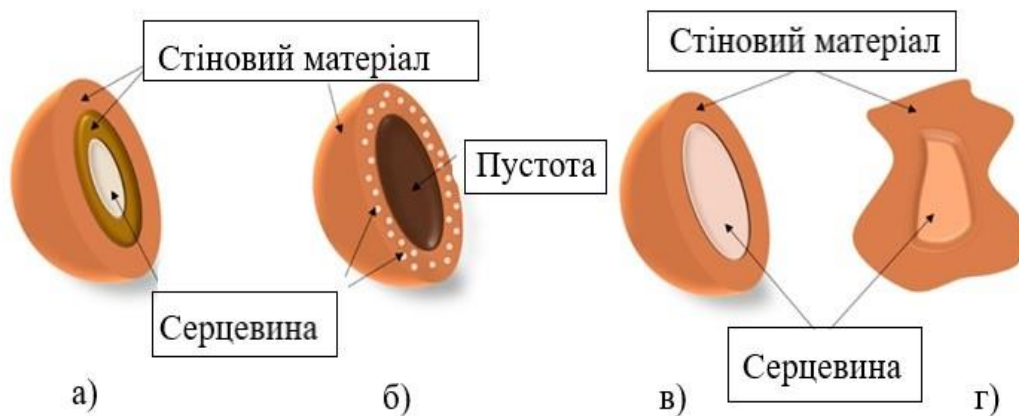


Рис. 1.2. Основні морфології мікрокапсул: (а) багатостінна з одною серцевиною; (б) одностінна з декількома серцевинами; (в) одностінна з однією серцевиною; (г) непостійна форма з однією серцевиною та стінкою

Більшість мікрокапсул – це невеликі сфери діаметром від декількох мікрометрів до кількох міліметрів. Однак багато з цих мікрокапсул мало нагадують ці прості сфери. Насправді і розмір, і форма утворених мікрочастинок залежать від матеріалів та методів їх приготування. Різні типи мікрокапсул і мікросфер виробляються з широкого спектру стінових матеріалів, таких як мономерів та / або полімерів. Залежно від фізико-хімічних властивостей серцевини, складу стінок та використовуваної техніки мікрокапсуляції можна отримати різні типи частинок

(рис. 1.2): проста сфера, оточена покриттям рівномірної товщини; частинка, що містить серцевину неправильної форми; кілька частинок серцевини, вбудованих у суцільну матрицю матеріалу стінки; кілька чітких ядер всередині однієї капсули та багатостінні мікрокапсули [63].

Важливим кроком у розробці мікрокапсул є підбір матеріалу для стінок, який відповідає необхідним критеріям: механічна міцність, сумісність з харчовим продуктом, відповідний розмір частинок тощо.

У якості стінових матеріалів для мікроінкапсуляції функціональних харчових добавок використовують:

- вуглеводи – крохмаль, мальтодекстрини, хітозан, тверді речовини кукурудзяного сиропу, декстран, модифікований крохмаль, циклодекстрини;
- целюлозу – карбоксиметилцелюлоза, метилцелюлоза, етилцелюлоза, целюлозацетат-фталат, целюлозацетатбутат-фталат;
- камеді – камедь акації, агар, альгінат натрію, карагенан;
- ліпіди – віск, парафін, бджолиний віск, діацилгліцерини, олія, жири;
- протеїни – клейковина, казеїн, желатин, альбумін, пептиди [64].

Крохмаль є відновлюваним біополімером, який поширений у природі та має широкі перспективи промислового застосування [65]. Крохмаль використовувався як стіновий матеріал для захисту таких сполук, як гербіциди, білки, мікроорганізми, пробіотики тощо [66]. Широке застосування крохмалю в технологіях мікрокапсуляції ґрунтується на його високій доступності, низькій вартості та фізико-хімічних властивостях (утримання води, висока або низька в'язкість тощо) [67]. Різні мікрокапсули на основі крохмалю, включаючи циклодекстрин, амілозу тощо, можна застосовувати для вбудовування різних харчових активних інгредієнтів. Завдяки різним модифікаціям можна розробити нові типи стінового матеріалу на основі крохмалю, а діапазон його застосування можна розширити [68].

Крохмаль можна використовувати як носій для захисту основного матеріалу, інкапсуляції та контрольованого вивільнення або маскування неприємних смаків, таких як кислий присмак, терпкість і гіркоту [69,70]. Однак природний крохмаль

мало використовується через його погану розчинність і слабку здатність утримувати воду, що обмежує його застосування в інших галузях. В даний час багато досліджень підтвердили, що натуральний крохмаль слід розумно модифікувати, контролюючи агрегатну структуру і структуру ланцюга крохмалю, збільшуючи вміст амілози, додаючи крохмалю ліпофільні групи, змінюючи його розчинність, водопоглинання та інші властивості, щоб він став хорошим стіновим матеріалом для інкапсулювання [71]. Мікрокапсульні системи доставки на основі крохмалю дозволяють захистити та доставити харчові інгредієнти, які мають певний біологічний вплив на організм, але є нестабільними під час обробки, зберігання та перебування у верхніх відділах шлунково-кишкового тракту [72].

Відповідно до його власних характеристик, крохмаль зазвичай модифікують фізичними, хімічними або ферментативними методами для покращення або зміни притаманних йому фізико-хімічних властивостей, щоб отримати композитні мікрокапсули з більшим виходом, зберігаючи при цьому функціональні та фізико-хімічні властивості природного крохмалю.

Розглянемо фізичні способи отримання крохмалю для інкапсулювання.

- *Мікрохвильова технологія* порівняно з традиційними методами, має такі переваги, як економія енергії та часу, зменшення використання органічних розчинників, спрощення робочих процедур, збільшення швидкості нагрівання та значне зменшення небезпеки для навколишнього середовища [73].

- *Сушіння розпиленням* є широко використовуваною технологією інкапсулювання, яка є простою у застосуванні та має низьку вартість. Принцип сушіння розпиленням полягає в пропусканні рідкої сировини через розпилювач з утворенням безлічі дрібних крапель. Краплі безпосередньо контактують із сухим гарячим повітрям і швидко випаровуються, утворюючи сухі крихітні частинки, які збираються в контейнер [74].

- *Гомогенізація під високим тиском*. Щоб створити сильний зсув, удар і кавітацію для руйнування гранул крохмалю, рідина під високим тиском проходить через невеликі зазори клапана гомогенізатора, так що амілоза розчиняється та

з'єднується з молекулами речовини що інкапсулюється для утворення комплексу. [75].

- *Ультразвукові хвилі.* Основними ефектами ультразвукових хвиль у рідинах є механічний зсув і кавітація. Кавітація ультразвукових хвиль може викликати миттєву високу температуру та утворення бульбашок. Згортання бульбашок викликає сильний механічний ефект, який може викликати руйнування деяких структур крохмалю [76]. Серед багатьох методів ультразвукова обробка є зручним і ефективним способом синтезу крохмальних мікрокапсул. Ультразвуковий метод обробки має прості робочі умови, відносно м'які умови реакції, просте обладнання, короткий час реакції та відсутність потреби у додатковій високій температурі та високому тиску, але отриманий продукт має відмінні характеристики цільової доставки [77].

- *Технологія надвисокого тиску* є різновидом технології нетермічної обробки. Вода використовувалася як середовище в середовищі з нормальною або низькою температурою для обробки матеріалів зразків шляхом застосування тиску понад 100 МПа, стиснення макромолекулярних речовин та зміни сил взаємодії (включаючи водневі зв'язки, іонні зв'язки та гідрофобні взаємодії, тощо) для досягнення мети модифікації [78].

- *Метод сублімаційної сушки* – це процес, під час якого матеріали заморожують під вакуумом, а потім підводять дуже невелику кількість тепла для безпосередньої сублімації вологи в матеріалах. Метод сублімаційної сушки готує мікрокапсули шляхом змішування матеріалу ядра та розчину матеріалу стінки та отримання стабільного та однорідного водного розчину за допомогою таких операцій, як перемішування та гомогенізація. Водний розчин ліофілізують для отримання сухих наномікрокапсул неправильної форми [79].

Відомі хімічні способи отримання модифікованих крохмалів для інкапсулювання біологічно активних сполук.

- Для отримання *етерифікованого крохмалю* використовують етерифікуючий агент, такий як октенілянтарний ангідрид, для етерифікації часткових функціональних груп крохмалю в лужному середовищі. Порівняно з

природним крохмалем модифікований крохмаль має високу гідрофільність, емульгувальні та гелеподібні властивості. Це новий, безпечний, недорогий емульгатор і загусник [80].

- *Окиснений крохмаль.* За цим способом модифікації у молекулі нативного крохмалю окиснюються гідроксильні групи в положеннях 2, 3 і 6 атомів карбону до карбонільних і карбоксильних груп. Окиснення може зруйнувати глікозидні зв'язки, які з'єднують молекули крохмалю, і змінити структуру молекул крохмалю, що призведе до ряду змін його властивостей [81]. Після окиснення крохмалю його молекулярна маса, кристалічна структура, температура клейстеризації зазнають низки змін, і він має такі переваги, як антистаріння та термостабільні властивості [82].

- *Кислотногодіролізований крохмаль* відноситься до типу модифікованого крохмалю, отриманого шляхом обробки натурального крохмалю мінеральною кислотою нижче температури клейстеризації. Кислотногодіролізований крохмаль дає можливість готувати клейстери низької в'язкості за високої концентрації, які при охолодженні формують драгли [83].

Також розглянемо біохімічні (ферментативні) способи отримання модифікованих крохмалів для інкапсулювання.

- *Амілолітичний крохмаль.* До гідролітичних ферментів, які зазвичай використовуються для приготування мікрокапсул з крохмалю, належать α -амілаза, β -амілаза та глюкозидаза. Останнім часом багато досліджень використовували гідролітичні ферменти для часткового гідролізу природного крохмалю, і утворені продукти, такі як пористий крохмаль, мали прийнятні властивості для матеріалу стінок мікрокапсул. Порівняно з іншими матеріалами-носіями, пористий крохмаль має чудові сорбційні властивості, оскільки утворювалися великі пори або порожнини від поверхні до центру частинок, а питома площа поверхні була збільшена для формування стабільної структури пор. Пористий крохмаль широко використовувався в харчовій промисловості для введення активних інгредієнтів, таких як оливкова олія, антоціани, вітаміни, пробіотики, тощо [84].

- *Біохімічна модифікація.* Загалом, утворення крохмалю зі зменшеною кількістю розгалужень, відбувається внаслідок обробки ферментами, такими як пуллуланаза та ізоамілаза, що призводить до переходу полісахаридів крохмалю з переплутаного розгалуженого стану в більш впорядкований односпіральный, і молекули речовини, що інкапсулюється, потрапляють у спіральну порожнину крохмалю. Гідрофобна порожнина може реагувати з багатьма гідрофобними лігандами, включаючи спирти, ліки, жирні кислоти, йод і парфуми, з утворенням мікрокапсул. Таким чином, використання ферменту для руйнування розгалуження може збільшити вміст лінійних полімерів у крохмалі, що призведе до збільшення здатності до мікрокапсулювання [85].

- *Циклодекстрини* – циклічні олігосахариди, що утворюються амілозою під дією циклодекстрин-глюкозилтрансферази, що виробляються *Bacillus*, зазвичай містить 6-12 D-глюкопіранозних одиниць. Циклодекстрини виглядають як злегка звужені кільця з гідрофільною зовнішньою поверхнею та ліпофільною порожниною всередині. Циклодекстрини широко використовуються у харчовій промисловості завдяки своїй унікальній хімічній структурі, в тому числі і для капсулювання ароматичних і біологічно активних речовин [86].

- *Мальтодекстрини* – це гідролізати крохмалю, які утворюються шляхом часткового гідролізу крохмалю за допомогою ферментативних процесів. Мальтодекстрин як харчова добавка на сьогодні популярний у харчовій промисловості, оскільки він недорогий, поживний, нейтральний за смаком, добре розчинний у холодній воді та забезпечує хороший захист смаку від окиснення. Доведено, що мальтодекстрин покращує окиснювальну стабільність інкапсульованих масел і є найбільш прийнятною альтернативою арабській камеді. Мальтодекстрин забезпечує ефективний бар'єр проти окиснення основних матеріалів та захищає їх від зовнішніх чинників. Властивості мальтодекстринів мають вирішальне значення для визначення реологічної поведінки кінцевого продукту. Різні мальтодекстрини класифікуються за видами на основі їх декстрозного еквіваленту (ДЕ), що означає ступінь гідролізу молекули крохмалю та безпосередньо пов'язаний із вмістом глюкози. Мальтодекстрини зі значеннями

декстрозного еквіваленту 10, 20 і 30 % мають найкращі фізичні властивості, а частинки мають гладку сферичну поверхню. Мальтодекстрини є прекрасними теплозахисниками, життєво необхідними для захисту цілісності антоціанів під час їх інкапсулювання [87].

Проаналізувавши літературні джерела, робимо висновок що модифіковані крохмалі широко використовують як стіновий матеріал для інкапсулювання БАР, тому дослідження і розроблення нових видів модифікованого крохмалю для інкапсулювання БАР з метою збагачення харчових продуктів є актуальним завданням сьогодення.

1.5 Огляд способів інкапсулювання

На сьогодні існують різні технології інкапсулювання БАР. На основі аналізу наукової літератури розглянемо основні способи утворення мікрокапсул.

При інкапсулюванні твердих частинок методами полімеризації та поліконденсації на поверхню речовини, що капсулюється, попередньо прищеплюють ініціатор полімеризації. При капсулюванні рідких речовин методом поліконденсації один з мономерів розчиняють у олійній фазі лікарської речовини, додають відповідний каталізатор реакції полімеризації (наприклад, пероксид бензоїлу), нагрівають протягом 15-20 хв при 55 °С і вливають у водний розчин емульгатора. Утворюється емульсія типу «масло в воді», яку витримують для завершення полімеризації протягом 4 год. Отриманий поліметилметакрилат, нерозчинний в маслі, утворює навколо крапель олії оболонку. Мікрокапсули, що утворилися, відокремлюють фільтруванням або центрифугуванням, промивають і сушать [88].

Метод висушування розпилюванням дисперсії або емульсії речовини (фізико-хімічний метод мікрокапсулювання), що капсулюється, полягає в диспергуванні дисперсії, що містить полімер і розчинник (як органічний, так і водний), в потік газу-теплоносія. В результаті тепло- та масообміну відбувається видалення розчинника з системи та утворення щільних частинок, інкапсульована речовина в яких розподілена по всьому об'єму, а не зосереджена в ядрі капсули.

Найбільш широко розповсюдженими групами речовин, що використовуються для інкапсуляції розпилювальним сушінням, є вуглеводи, включаючи модифіковані та гідролізовані крохмалі, похідні целюлози, камеді та циклодекстрини; білки, включаючи сироваткові білки, казеїн та желатин; біополімери. Тип матеріалу оболонки, що використовується, впливає не тільки на ефективність інкапсуляції, але і на морфологію частинок продукту [89].

Розпилювальне охолодження подібне до сушіння розпиленням, оскільки матеріал основи диспергується у зрідженому покритті чи матеріалі стінок та розпилюється. Однак, на відміну від сушіння розпилюванням, вода зазвичай не випаровується. Суміш серцевини (БАР) та стінового нейтрального матеріалу розпилюється в прохолодному або холодному повітрі, що спричиняє затвердіння стінки навколо серцевини. При охолодженні розпилюванням покриття, як правило, є фракціонованою або гідрогенізованою рослинною олією з температурою плавлення в діапазоні 32 – 42 °С. Хоча при розпилювальному охолодженні стінка зазвичай є рослинною олією, проте можуть використовуватися і інші матеріали. Ці два способи, які відрізняються лише точкою плавлення використовуваного матеріалу стінки, найчастіше застосовуються для інкапсуляції твердих матеріалів, таких як вітаміни, мінерали. Завдяки можливості вибору температури плавлення стінки ці способи інкапсулювання можна використовувати для контрольованого вивільнення [90].

Коацервація – утворення у розчині високомолекулярних сполук крапель, збагачених розчиненою речовиною. Злиття крапель, що утворюються, призводить до поділу системи на два рівноважних рідких шари: шару з малим вмістом поліелектроліту і шару з підвищеною його концентрацією, так званий коацервативний шар.

З фізико-хімічної точки зору явище коацервації обумовлено внутрішньо- та міжмолекулярною взаємодією за участю іонів поліелектроліту або поліелектролітів, що призводять до зміни конформації макромолекул поліелектролітів у розчині, ступеня їх гідратації та, як наслідок, до зменшення їх розчинності. Коацервація при взаємодії розчину полімеру та низькомолекулярної

речовини називається простою. В її основі лежить фізико-хімічний механізм злипання розчинених молекул і відокремлення від них води за допомогою водовіднімаючих засобів. Просту коацервацію викликають додаванням неорганічних солей або інших ліофільних речовин, а також зміною температури або розведенням системи.

Складна коацервація спостерігається при взаємодії двох або більше полімерів, макромолекули яких несуть протилежні заряди, та їх взаємної нейтралізації [91].

Аерозольний метод (фізико-хімічний метод мікрокапсулювання) – принциповою відмінністю аерозольного методу від інших є наявність газового диспергованого середовища і, як наслідок, суттєво менший розмір взаємодіючих частинок та утворених мікрокапсул. Аерозольний метод мікрокапсулювання здійснюється наступними способами:

- розпорощенням частинок речовини, що капсулюється, у вигляді аерозолу в парах капсулюючого матеріалу з конденсацією парів на частинках;
- розпорощенням емульсії або дисперсії обох компонентів;
- змішуванням аерозолів двох компонентів, здатних до поліконденсації або полімеризації з утворенням оболонки навколо частинок компонента, що капсулюється [92].

Основні умови, що забезпечують ефективність мікрокапсулювання аерозольним способом, полягають у наступному: аерозольні частинки не повинні бути взаєморозчинними; поверхневий натяг на межі розділу частинок має бути мінімальним; капсульована речовина повинна мати більшу енергію когезії, ніж матеріал оболонки; частинки мають бути близькі за розмірами.

До нових методів інкапсуляції можна віднести інкапсуляцію матеріалів у псевдозрідженому шарі за надкритичних умов.

Нанесення покриттів у псевдозрідженому шарі дрібнодисперсних частинок за надкритичних умов – нова технологія, що розвивається, призначена для інкапсуляції термолабільних продуктів. Надкритичні рідини є унікальними розчинниками, оскільки їх густина аналогічна густинам рідин, тоді як в'язкість та

коефіцієнт дифузії близький до даних показників для газів. Розпилення надкритичних розчинів дозволяє отримувати краплі та частинки субмікронного розміру, а також напилювати їх на інші частинки. Оскільки когезійні та адгезійні сили для надкритичних розчинів малі порівняно з даними показниками для органічних розчинників, то й сила капілярного стиснення незначна. Ця особливість дозволяє інкапсулювати в псевдозрідженому шарі частинки розміром менше 100 мкм без утворення агломератів. При цьому надкритична рідина використовується і як розчинник для диспергованого розчину, і як псевдозріджувальний агент [93].

Вибір методу мікрокапсуляції та матеріалів для покриття взаємозалежний. Виходячи з застосовуваного матеріалу покриття, вибирається відповідний спосіб мікрокапсулювання. Ідеальний матеріал для покриття БАР для використання у харчових продуктах повинен мати такі характеристики:

1. прийнятні реологічні характеристики при високій концентрації та легка технологічність під час інкапсуляції;
2. здатність диспергувати або емульгувати активний матеріал і стабілізувати отриману емульсію;
3. нереактивний з матеріалом, який слід капсулювати як під час обробки, так і при тривалому зберіганні;
4. можливість герметизації та утримування активного матеріалу в його структурі під час обробки або зберігання;
5. здатність повністю вивільняти розчинник або інші матеріали, що використовуються в процесі інкапсуляції в умовах сушіння або інших умовах знесолення;
6. можливість забезпечити максимальний захист активного матеріалу від навколишнього середовища (наприклад, кисню, тепла, світла, вологості);
7. розчинність у розчинниках, які можна використовувати у харчовій промисловості (наприклад, у воді, етанолі);
8. хімічна нереактивність з активними основними матеріалами;
9. недорогий статус харчових продуктів [94].

Аналіз літературних джерел показав, що розроблення ефективних і простих способів інкапсулювання біологічно активних речовин з використанням фізично модифікованого резистентного крохмалю є своєчасним і потребує дослідження.

1.6. Перспективи використання модифікованого резистентного крохмалю у технологіях інкапсулювання для збагачення харчових продуктів

Споживачі все частіше обирають продукти харчування, які, окрім того, що задовольняють потреби організму у поживних речовинах і приносять насолоду від їх споживання, мають також профілактичну і оздоровчу дію на організм. Щоб задовольнити попит у таких продуктах, виробники мають впроваджувати нові інноваційні прийоми у виробництво харчових продуктів: з метою підвищення їх корисності збагачувати мікронутрієнтами, біологічно активними речовинами, або вилучати деякі складові, які можуть погіршувати стан окремих груп людей, наприклад, глютен з хлібобулочних виробів, лактозу з молочної продукції [95].

Переваги збагачення продуктів харчування:

- це чудовий спосіб покращити здоров'я населення з меншими зусиллями;
- збагачення є безпечним способом забезпечення кращого харчування людей;
- людям не обов'язково змінювати свій звичний режим харчування, звички;
- характеристики їжі не змінюються при збагаченні [96].

Принципи збагачення харчових продуктів мікронутрієнтами полягають у наступному:

- дефіцит мікронутрієнту має бути доведений і безпечний для здоров'я;
- об'єктами збагачення мають бути продукти загальнодоступного використання;
- рівень збагачення мікронутрієнтами має становити 20...50 % добової потреби даного мікронутрієнта у разі звичайного рівня вживання продукту;
- збагачення мікронутрієнтами не має погіршувати споживчі властивості продукту;

- через можливість хімічної взаємодії між речовинами основного продукту, і тими, якими збагачується продукт, бажано це враховувати, оскільки через таку взаємодію БАР можуть втрачати свою біологічну активність і руйнуватися;

- слід враховувати природний вміст мікронутрієнтів у вихідному продукті чи сировині, втрати під час виробництва та зберігання, щоб при додатковому збагаченні мікронутрієнтами, їх загальна кількість відповідала тому, що була вказана виробником на весь термін зберігання.

До числа мікронутрієнтів, дефіцит яких справді має місце в Україні, слід віднести вітаміни групи С, В, фолієву кислоту (частково), йод, селен, залізо, кальцій. Сюди можна включити можливість використання широкого переліку нутрієнтів, таких як харчові волокна, фосфоліпіди, поліненасичені жирні кислоти групи омега-3, омега-6 та інші [97].

Технологія мікрокапсулювання може бути корисною та адаптованою альтернативою для збереження БАР і може бути визначена, як технологія пакування твердих, рідких і газоподібних матеріалів у суцільну плівку, як покриття для формування капсул розміром від мікрметра до міліметра. Мікрокапсуляція широко використовується у харчовій промисловості в основному завдяки її функціональним властивостям, таким як: зменшення реакцій окиснення активного мікронутрієнту при контакті з чинниками навколишнього середовища: тепла, вологи, повітря та світла; зменшення або запобігання небажаному вивільненню матеріалу серцевини у зовнішнє середовище; полегшення обробки та транспортування біоактивних речовин; маскування небажаного смаку та запаху; розведення основного матеріалу, коли він призначений для використання в дуже малих кількостях; розділення компонентів суміші, які інакше реагували б один з одним.

Антиоксидантний потенціал, антимікробний ефект, посилення смаку та стабілізація їжі є деякими важливими функціями багатьох біоактивних сполук, які використовуються для розробки інноваційних харчових продуктів (рис. 1.3).

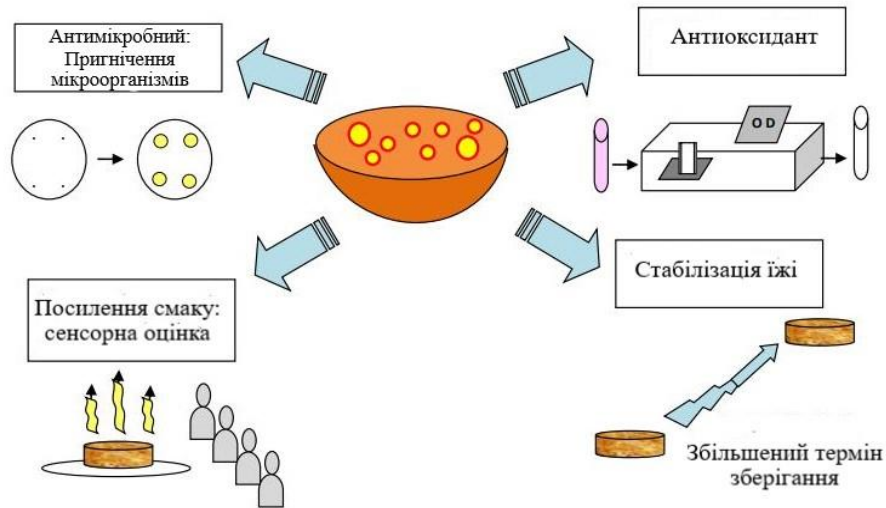


Рис. 1.3. Оцінка ефективності мікрокапсульованих біоактивних речовин

Слід відмітити ряд галузей харчової промисловості, які виробляють потенційні продукти для включення мікрокапсульованих інгредієнтів, а саме молочні і м'ясні продукти, соуси, хлібобулочні вироби та напої [98].

Ran та ін. досліджували інкапсуляцію ефірної олії тимолу в казеїнаті натрію та повідомили, що інкапсульована ефірна олія була більш ефективною, ніж вільна форма (неінкапсульована) для інгібування харчових патогенів (*Listeria*) у молоці. Це може бути пов'язано з покращеним розподілом і збільшенням розчинності через інкапсуляцію [99]. Інкапсуляція вітаміну Е з використанням крохмалів, модифікованих октенілсукциновим ангідридом, була проведена Nategkimana та ін. [100]. Було зроблено висновок, що капсули можна використовувати у виробництві ліків і напоїв. Xu та ін. використовували декстрин для інкапсуляції поліненасичених жирних кислот, щоб контролювати їх вивільнення та покращити їх стабільність [101]. Rasti та ін. використовували системи доставки на основі ліпосом для мікрокапсульювання омега-3 жирних кислот, і вони повідомили, що інкапсульовані біологічно активні сполуки показали вищу окиснювальну стабільність [102].

Çam та ін. мікрокапсульювали фенольні сполуки шкірки граната (*Punicagranatum*) шляхом сушіння розпиленням для використання в рецептурах морозива. Вони повідомили, що збагачення мікрокапсульюваними поліфенолами з

шкірки покращує антиоксидантну та інгібіторну дію α -глюкозидази: більше 75 % учасників сенсорної оцінки прийняли кінцевий продукт [103]. Рецептуру порошкового супу, збагаченого омега-3 жирними кислотами, оптимізували Rubilar та ін. з використанням мікрокапсул лляної олії. Лляна олія була інкапсульована в матриці мальтодекстрину та гуміарабіку, і таким чином також було досягнуто контрольоване вивільнення основної біоактивної сполуки [104]. Екстракт плодів гарцинії, багате джерело гідроксилімонної кислоти, яка має різноманітні переваги для здоров'я, був мікрокапсульований і доданий до хліба і макаронних виробів. Ці автори повідомили, що продукти з мікрокапсульованими біологічно активними сполуками мають покращені якості, включаючи сенсорні властивості [105, 106].

Pasrija та ін. інкапсульовали поліфеноли зеленого чаю за допомогою двох методів, а саме сублімаційної сушки та розпилювальної сушки з використанням різних матеріалів стінок. Зразки хліба, що містять ці мікрокапсули, мали подібні характеристики порівняно з контрольними зразками. Колір і смак зразків хліба, що містять мікрокапсули, були дещо кращими, ніж контрольні (вільні поліфеноли) зразки. Ці автори дійшли висновку, що збагачення хліба мікрокапсулами поліфенолів зеленого чаю може більш ефективно зберегти якісні характеристики хліба разом із функціональністю поліфенолів [107].

У нещодавньому дослідженні йогурти та безалкогольні напої також збагачували інкапсульованим (розпилювальна сушка; мальтодекстрин) бетаксантином. Цей водорозчинний природний жовтий барвник покращує стабільність кольору обох моделей харчових продуктів, хоча ця стабільність залежала від температури зберігання та світла. Крім того, продукти були збагачені бетаксантинами, які мають підтверджену користь для здоров'я людини [108]. У йогуртах, з мікрочастинками β -каротину, автори помітили, що включення цих мікрочастинок не вплинуло суттєво на характеристики йогурту, тоді як коінкапсуляція з α -токоферолом підвищила окиснювальну стабільність продукту. Крім того, сенсорна оцінка показала, що це перспективна стратегія виробництва збагачених поживних речовин, яка дозволяє замінити штучні барвники в молочній промисловості [109]. Подібним чином, використання ліофілізованого граната,

інкапсульованого в мальтодекстрин, дало фантастичну можливість для розробки функціонального напою з високими антиоксидантними та антибактеріальними властивостями при тому, що це включення не впливало на сенсорне сприйняття в кількостях до 2 % [110].

Ще одним важливим застосуванням інкапсульованих біоактивних молекул є їх використання для подовження терміну зберігання м'ясних продуктів. У дослідженні автори запропонували для запобігання псуванню фаршу інкапсульювати ефірну олію часнику за допомогою техніки розпилувальної сушки у суміш мальтодекстрину і гуміарабіку, як стінового матеріалу [111]. У цьому випадку використання мікрокапсульованої ефірної олії в концентрації 20 % виявило сильну антимікробну дію, що збільшило термін придатності фаршу. Подібним чином, використання ефірної олії чебрецю, інкапсульованої за допомогою розпилувальної сушки у казеїн-мальтодекстринову матрицю, показало сильну антиоксидантну та протимікробну дію [112].

Резистентному крохмалю приділено багато уваги науковцями як за його потенційну користь для здоров'я, так і за функціональні властивості. РК є одним з найбільш поширених харчових джерел неперетравлюваних вуглеводів і може мати таке ж важливе значення як некрохмальні полісахариди у зміцненні здоров'я товстого кишечника та запобіганні запальних захворювань кишечника, але має менший вплив на метаболізм ліпідів і глюкози.

РК діє в основному через продукти бактеріального бродіння у товстому кишечнику, якими є коротколанцюгові жирні кислоти, але інтерес до його пребіотичного потенціалу зростає. Також зростає інтерес до використання РК для зниження енергетичної цінності продуктів харчування. РК може також використовуватися для підвищення вмісту харчових волокон в продуктах харчування, і наразі досліджується його потенціал щодо прискорення відчуття насичення та уповільнення глікемічної реакції.

Переваги резистентного крохмалю для здоров'я людини:

- профілактика раку товстої кишки;
- гіпоглікемічний ефект;

- резистентний крохмаль як пребіотик;
- гіпохолестеринемічний ефект;
- пригнічення накопичення жиру;
- поглинання мінералів [113].

За кордоном розповсюджене виробництво харчових продуктів, у тому числі виробів спеціального призначення, які можна поділити на дві групи: функціональні (оздоровчі) і дієтичні.

До створення продуктів функціонального призначення висувають такі вимоги:

- збільшення в продуктах харчування вмісту поживних речовин – мікро- і макроелементів: мінеральних речовин, вітамінів, БАР, незамінних амінокислот, ферментів, поліненасичених жирних кислот, пробіотиків та пребіотиків, харчових волокон;
- додавання до складу рецептур продуктів компонентів нової сировини з науково обґрунтованими функціональними властивостями і добовими нормами їх вживання;
- заміна макронутрієнтів, які можуть негативно впливати на організм людини, на компоненти, які дають корисний ефект;
- збільшення засвоюваності харчових компонентів з позитивним впливом на організм людини;
- збагачення продуктів харчування БАР, при цьому потрібно враховувати для яких груп населення розробляється функціональний продукт, тобто враховувати вік, фізичні навантаження, стан здоров'я;
- наявність науково-обґрунтованих фізико-хімічних характеристик функціональних інгредієнтів і методів їх кількісного визначення;
- відсутність властивості зменшувати харчову, біологічну цінність, органолептичні показники [114].

РК викликає велику зацікавленість розробників продуктів харчування і дієтологів з двох причин, перша – це вищезгадані потенційні фізіологічні переваги,

а друга – унікальні функціональні властивості, які неможливо отримати інакше за допомогою традиційних нерозчинних волокон.

Історично їжа, що містить клітковину, була грубішою, щільнішою, а іноді й менш смачною, ніж рафінована, оброблена їжа. Використання РК у якості харчового інгредієнту зазвичай не змінює смак і суттєво не змінює текстуру, але може значно покращити сенсорні характеристики порівняно з багатьма традиційно використовуваними волокнами, такими як висівки та камедь. Це значно збільшує ймовірність того, що споживачі приймуть ці продукти і, отже, збільшать споживання харчових волокон.

Ці властивості дозволяють використовувати найбільш стійкі крохмалі для заміни борошна за принципом один до одного без істотного впливу на обробку тіста або реологію. РК не тільки зміцнює клітковину, але й надає особливих характеристик, яких неможливо досягти в продуктах з високим вмістом клітковини.

РК також можуть використовуватися для забезпечення клітковиною деяких комерційно доступних продуктів з низьким вмістом вуглеводів, які виробляються для тих, хто дотримується дієти з низьким вмістом вуглеводів. Є також потенційні можливості використання РК у ферментованих продуктах, таких як в'ялені ковбаси.

На відміну від природних джерел РК (наприклад, бобових, картоплі, бананів), промислово виготовлені РК не залежать від умов обробки та зберігання. Наприклад, кількість резистентного крохмалю другого типу РК2 в зелених бананах зменшується зі збільшенням стиглості, тоді як комерційна форма РК2, Hi-maize, не викликає цих труднощів.

Хлібобулочні вироби, такі як хліб, кекси та сухі сніданки, можна виготовляти, використовуючи РК як джерело клітковини. Кількість резистентного крохмалю, що використовується для заміни борошна, залежить від конкретного виду крохмалю, застосування бажаного рівня харчових волокон та від бажаної структури. Включення РК в хлібобулочні вироби, макаронні вироби та напої покращує текстурні властивості та підвищує користь для здоров'я [115, 116, 117].

Aparicio-Saguilán та ін. розробили печиво збагачене резистентним крохмалем. РК додавали до рецептури у співвідношенні 10, 15, 25 та 35 % (на основі пшеничного борошна). Визначено, що за хімічним складом печива немає різниці у вмісті зольних елементів та ліпідів між контролем (100 % пшеничне борошно) та печивом з додаванням РК. Прогнозований глікемічний індекс (ГІ) на основі індексу гідролізу для печива з додаванням РК становив 60,53, порівняно із 77,62 для контрольних зразків, що свідчить про наявність «повільно засвоюваних вуглеводів» у печиві з додаванням РК [118].

Вплив заміни пшеничного борошна резистентним крохмалем на реологічні властивості кексів вивчався в дослідженні Vaixauli та ін. РК додавали до рецептури у кількості 5, 10, 15 і 20 % (від загальної маси). Було визначено, що об'єм і висота кексу, а також кількість і площа газових комірок зменшуються, коли рівень резистентного крохмалю досягає приблизно 15 % або вище [119].

Basinci та ін. досліджували використання РК як заміника жиру в тортах з низьким вмістом жиру. Кукурудзяний крохмаль модифікували кислотою HCl протягом 2,5 годин, потім модифікований кислотою крохмаль автоклаували та зберігали при 95 °C протягом 2 днів, до утворення РК. Обсяг кондитерського жиру у рецептурі тортів зменшили на 25, 37,5 та 50 %, і компенсували РК. Було визначено, що торти із заміною кондитерського жиру резистентним крохмалем, мали світліший колір скоринки, вищі значення об'єму та індексу симетрії та більш тверду текстуру м'якушки, ніж тістечка, приготовані з кондитерським жиром. Вважалося, що це пов'язано з високою водоутримувальною здатністю зразків РК [120]. Крім того, для виробництва тістечок з низьким вмістом жиру, його рівень було зменшено на 50 % і замінено кислотногогідролізованим кукурудзяним крохмалем (Basinci та ін.), а пшеничне борошно у формулі було замінено комерційними стійкими крохмалюми (Hylon VII, CrystaLean, Novelose 330) у кількостях 15, 30 і 45 %. Щоб уникнути несприятливої текстури, спричиненої високою водоутримувальною здатністю крохмалю, до формули додавали 10 мл води для кожного рівня заміни. Було виявлено, що структура коржів, отриманих із використанням кислотногогідролізованого кукурудзяного крохмалю, є більш

рівномірною, ніж у тортах з низьким вмістом жиру. Зі збільшенням рівня добавки тістечка мали значно вищий вміст РК і світліший колір скоринки для всіх зразків. Спостерігалось порушення рівномірності розподілу розмірів газових комірок у готових виробах при додаванні 45 % РК [121].

Аскорбінова кислота як представник класу водорозчинних вітамінів

Відомо, що вітаміни належать до мікроелементів, не синтезуються в організмі людини, а мають надходити з компонентами харчування. Вітаміни є життєво необхідними компонентами обміну речовин і на відміну від макронутрієнтів, їх добові потреби складають міліграми або мікрограми кількості [122].

Водорозчинний вітамін С (кислота аскорбінова) – є одним з найважливіших БАП, який забезпечує нормальне дихання клітин і щільність стінок кровоносних судин, підвищує стійкість організму проти хвороб, сприяє загоєнню ран. Крім того, вітамін С регулює окисно-відновні процеси, згортання крові, вуглеводний обмін, бере участь у перетворенні холестерину в стероїдні гормони та проколагену в колаген, що є основним позаклітинним компонентом сполучної тканини. Аскорбінова кислота – підсилює дію гормону кортизону, гонадотропних гормонів, тіаміну, флавоноїдів, тобто є їх синергістом, також вона антагоніст тироксину [123].

У водних розчинах L-аскорбінова кислота (L-АК) зворотно перетворюється на дегідроформу – L-дегідроаскорбінову кислоту (L-ДАК), яка повністю зберігає біологічні властивості вітаміну С; подальші окиснювальні перетворення є незворотними і призводять до утворення похідних, що не мають вітамінних властивостей. В організмі людини L-АК зазнає таких самих перетворень [124].

В природі існує тільки L-ізомер аскорбінової кислоти; D-форма може бути отримана лише синтетичним шляхом, але вона не володіє біологічною активністю. L-Аскорбінова кислота не синтезується в організмі людини (тобто є вітаміном), проте синтезується у більшості рослинних та тваринних організмів [125].

Аскорбінова кислота сприяє засвоєнню кальцію організмом і зміцнює волосся, покращує ріст і здоровий розвиток клітин. Оскільки вітамін С є одним з

найбільш відомих антиоксидантів, він допомагає організму боротися з вільними радикалами і підвищує імунітет. Людський організм не здатен виробляти вітамін С і накопичувати його впрок, тому включати достатню кількість вітаміну С в щоденний раціон є дуже важливим.

Значну кількість кислоти аскорбінової містять свіжі рослини. В процесі термічної обробки сировини рослинного походження або при звичайному сушінні під дією зовнішнього середовища кількість цієї сполуки, яка легко окиснюється, зменшується. Добова потреба у вітаміні С за підрахунками вчених становить 50-70 мг [126, 127].

Характеристика кверцетину

Останнім часом для підвищення біологічної активності продуктів використовують препарати з рослинної сировини. Через низьку токсичність їх можна використовувати тривалий час без ризику виникнення побічних ефектів [128].

Одними з найпоширеніших класів природних сполук є похідні кисневмісних гетероциклів, серед яких важливе місце займають флавоноїди, що містяться майже у всіх рослинах [129].

Підвищений інтерес до флавоноїдів зумовлений їх високою та різноплановою біологічною активністю. Низька токсичність, поряд із вибірковою фармакологічною дією на організм людини відкриває перспективи широко залучати їх для створення нових лікарських препаратів [130, 131].

Сполуки флавоноїдної природи виявляють більше 40 видів біологічної активності. Їх дія зумовлена здатністю гальмувати окислення аскорбінової кислоти, що каталізується іонами важких металів, з якими ці сполуки утворюють хелатні комплекси. Антиоксидантні властивості флавоноїдів є безумовно дуже цінними, оскільки насичення організму антиоксидантами запобігає старінню та сприяє подовженню тривалості життя [132, 133]. Ряд флавоноїдів відноситься до групи вітаміну Р. Це речовини здатні зменшувати проникність та ламкість капілярів. Крім того, ці флавоноїди мають антиоксидантні властивості, а саме запобігають окисненню аскорбінової кислоти та адреналіну.

В якості лікарських засобів практичне застосування мають флавоноли рутин (1) та кверцетин (2) (рис. 1.4), які відносяться до групи вітаміну Р. Особливо багатими ними зелені листки чаю, квіти та листки гречки, софори японської, плоди цитрусових, шипшини, чорноплідної горобини [134].

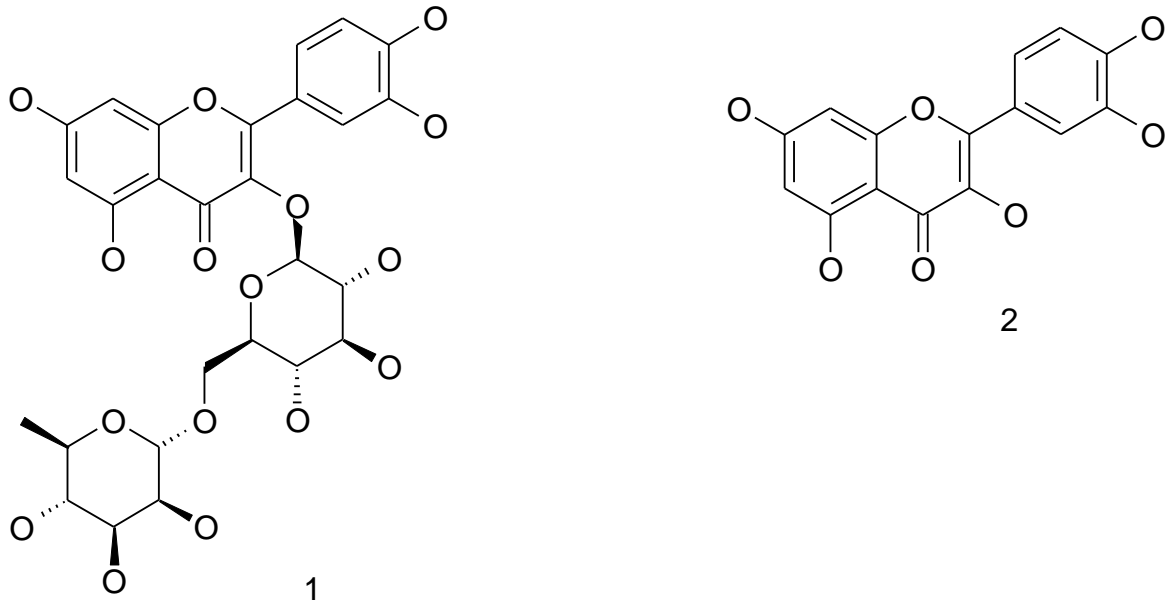


Рис. 1.4. Хімічна будова молекул рутину (1) та кверцетину (2)

Володіючи Р-вітамінною активністю, кверцетин розширює судини, підвищує їх тонус, виявляє спазмолітичні властивості. Він застосовується при підвищеній проникності та ламкості капілярів при гіпертонії, атеросклерозі, ревматизмі. Завдяки своїм антиоксидантним властивостям, кверцетин захищає мембрани клітин, а також гальмує процес їх старіння. Крім того, цей флавоноїд запобігає накопиченню холестерину на стінках судин. Регулярне споживання кверцетину нормалізує артеріальний тиск, покращує кровообіг, значно знижує ризик виникнення серцево-судинних захворювань та утворення тромбів. Крім протизапальної та регенеративної дії, цей природний флавоноїд має ще й онкопротекторну активність, зміцнюючи імунну систему й прискорюючи вироблення дезінтоксикаційних ферментів, які позбавляють організм від потенційних канцерогенів [135].

Отже, проаналізувавши літературні джерела, можемо підсумувати, що додавання функціональних інгредієнтів до харчових продуктів є перспективним і

актуальним напрямком для розширення асортименту продуктів профілактичного і оздоровчого призначення.

Вважаємо недостатньо дослідженим напрямком інкапсулювання біологічно активних сполук в матрицю модифікованого крохмалю, який окрім того, виявляв би ознаки резистентності.

На основі літературного аналізу сформовано мету і задачі дослідження.

Мета дослідження – наукове обґрунтування і розроблення технології резистентного модифікованого крохмалю для інкапсулювання біологічно активних речовин та створення з його використанням харчових продуктів оздоровчого призначення.

Задачі дослідження

- розробити технологію резистентного модифікованого крохмалю придатного для інкапсулювання БАР;
- дослідити фізико-хімічні властивості отриманого крохмалю;
- визначити ступінь резистентності отриманого модифікованого крохмалю;
- дослідити можливість використання отриманого модифікованого крохмалю у якості стінового матеріалу для інкапсулювання біологічно активних речовин;
- дослідити можливість використання розробленого модифікованого крохмалю для збагачення продуктів харчування;
- розробити технології харчових продуктів оздоровчого призначення з використанням збагаченого резистентного крохмалю.

Висновки за розділом 1

1. На основі вивчення літературних джерел проаналізовано сучасний стан виробництва крохмалю в світі та в Україні, способи модифікації крохмалю, а також перспективи використання у харчових продуктах.

2. За даними наукової літератури охарактеризовано типи резистентного крохмалю і способи їх отримання. Встановлено, що фізична модифікація крохмалю є перспективним напрямком отримання резистентного крохмалю, оскільки не потребує спеціальних хімічних реагентів і дозволяє отримати модифікований крохмаль з високим ступенем стійкості до дії травних ферментів.

3. На основі аналізу літератури, встановлено, що перспективним є використання модифікованого резистентного крохмалю у якості стінового матеріалу для інкапсулювання БАР з метою їх збереження від дії небажаних чинників у ході приготування харчових продуктів.

4. Встановлено, що для збагачення харчових продуктів БАР можна обрати представника класу водорозчинних вітамінів L-аскорбінову кислоту (L-АК) і представника класу рослинних біофлавоноїдів, що відноситься до групи вітаміну Р і має різнопланову позитивну біоактивну дію на організм людини, кверцетину.

5. Аналіз літературних джерел показав, що розроблення технологій функціональних продуктів харчування з використанням збагаченого резистентного крохмалю є перспективним напрямком розширення асортименту продуктів профілактичного і оздоровчого призначення.

6. На основі аналізу літературних джерел сформульовано мету і задачі дослідження.

РОЗДІЛ 2

ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

З метою наукового обґрунтування і розроблення технології збагаченого модифікованого резистентного крохмалю та рецептур продуктів з його використанням було складено програму комплексних теоретичних та експериментальних досліджень (рис. 2.1). Аналітичні, експериментальні дослідження та дослідно-промислові випробування проводили згідно з розробленою програмою, що передбачає системний аналіз, наукове обґрунтування оптимальних параметрів технологічних процесів.

Експериментальні дослідження за темою дисертаційної роботи проводилися у науково-дослідних та виробничих лабораторіях навчально-наукових закладів і підприємств галузі: кафедри технології цукру і підготовки води Національного університету харчових технологій, Інституту технічної теплофізики НАНУ, Інституту фізичної хімії НАНУ, Інституту продовольчих ресурсів НААН, ПБП «Вимал» (м. Чернігів), ТОВ «Продсервіс ІР» (с. Михайлівка-Рубежівка), ФОП «Кононенко М.В.» (м. Київ).

2.1. Об'єкт і предмет дослідження

Об'єкт дослідження – технологія модифікованого резистентного крохмалю для інкапсулювання біологічно активних речовин і технології борошняних кондитерських виробів (кексів) і майонезних соусів оздоровчого призначення з використанням розробленого крохмалю.

Предмет дослідження – кукурудзяний і картопляний нативні і модифіковані види крохмалю; аскорбінова кислота; кверцетин; рутин; тимол, екстракт стевії; продукти інкапсулювання аскорбінової кислоти, кверцетину, стевії модифікованим крохмалем; кекс і майонезний соус з модифікованим пористим збагаченим крохмалем, амілолітичні ферменти.

При проведенні лабораторних і виробничих досліджень було використано наступну сировину:

- кукурудзяний крохмаль, що відповідає вимогам (ДСТУ 3976-2000);

- картопляний крохмаль, що відповідає вимогам (ДСТУ 4286:2004);
- вода дистильована, що відповідає вимогам (ДСТУ ISO 3696:2003);
- вода питна, що відповідає вимогам (ДСТУ 7525-2014);
- спирт етиловий, що відповідає вимогам (ДСТУ4221:2003);
- борошно пшеничне хлібопекарське, що відповідає вимогам (ДСТУ 46004-99);
- цукор білий кристалічний, що відповідає вимогам (ДСТУ 4623:2006);
- олія соняшникова, що відповідає вимогам (ДСТУ 4492-2005);
- сіль вуглеамонійна, що відповідає вимогам (ГОСТ 9325-79);
- маргарин, що відповідає вимогам (ДСТУ 4465:2005);
- сіль кухонна, що відповідає вимогам (ДСТУ 3583:2015);
- гірчиця харчова, що відповідає вимогам (ДСТУ 1052:2005);
- аквафаба – рідина від варіння бобових.

Тимол (країна-виробник Китай); рутин (країна-виробник Китай); кверцетин (фірми «Fengchen group», Китай); аскорбінова кислота (фірми «Himreagent», Україна), екстракт стевії марки «Pure Circle».

2.2. Загальна схема проведення досліджень

На рис. 2.1 представлено план дисертаційних досліджень, що включає аналіз ринку та досвіду вчених, теоретичне обґрунтування перспективності і доцільності розроблення технології резистентного крохмалю для інкапсулювання БАР, експериментальні дослідження технологічних умов отримання модифікованого пористого крохмалю, його структури і властивостей, продуктів сорбції модифікованого крохмалю з БАР та їх застосування в рецептурах харчових продуктів (кексу, майонезного соусу, безалкогольних напоїв), органолептичну оцінку отриманих продуктів.

Дослідження проводили за трьохкратного повторення.



Рис. 2.1. Схема комплексної програми досліджень

2.3. Методи досліджень

В ході дослідження технологічних показників нативних і модифікованих видів крохмалю, використовували як загальноприйняті, так і удосконалені автором спеціальні фізичні і хімічні методи досліджень.

Для визначення показників вологості, кислотності, рН середовища і зольності зразків користувались стандартними методиками.

2.3.1 Отримання модифікованого крохмалю

Отримання модифікованого крохмалю з нативного складається з наступних основних стадій: приготування суспензії крохмалю певної концентрації, клейстеризації, охолодження крохмального клейстеру, заморожування, відтавання, зневоднення, висушування, подрібнення і просіювання готового модифікованого крохмалю.

Для отримання модифікованого крохмалю з нативного готували суспензію крохмалю заданої концентрації, клейстеризували крохмаль шляхом нагрівання суспензії і охолоджували. Клейстер заморожували у морозильній камері за температури -18°C протягом 24 годин. Далі заморожений клейстер поступово розморожували і після повного відтавання її зневоднювали пресуванням, подрібнювали і висушували за температури $30-40^{\circ}\text{C}$.

Для приготування інкапсульованих пористим крохмалем вітамінних комплексів у охолоджений клейстер вносили задану кількість біологічно активної речовини (аскорбінова кислота, кверцетин, стевіозид) і добре перемішували до повного розчинення, заморожували, відтаювали, зневоднювали і висушували. Висушений пористий модифікований крохмаль подрібнювали і просіювали.

2.3.2 Методики досліджень отриманого модифікованого крохмалю

Дослідження внутрішньої структури модифікованого крохмалю. Мікроскопіювання та фотографування зерен пористого кукурудзяного крохмалю здійснювали за допомогою скануючого електронного мікроскопу LEO 1420 (Germany).

Рентгенофазовий аналіз (РФА) зразків модифікованого пористого крохмалю проводили за допомогою рентгенівського дифрактометра HZG4A (Carl Zeiss, Jena, Germany).

Дослідження реологічних властивостей модифікованих зразків крохмалю проводили за допомогою віскозиметра «РЕОТЕСТ-2».

Готували суспензії пористих кукурудзяного і картопляного крохмалів концентрацією 5 %. Пористі крохмалі отримували з крохмальних клейстерів концентрацією 5 і 10 %. Перемішували системи і нагрівали для набрякання крохмалю на водяній бані, після чого охолоджували до кімнатної температури. У нерухомий зовнішній циліндр приладу «Реотест-2» (1) заливали 30-40 см³ досліджуваної системи. Одягали внутрішній циліндр (2) на вісь (3), що з'єднана з електричним двигуном.

Зовнішній циліндр (1) зі структурованою системою одягали на зафіксований внутрішній циліндр (2) і піднімали до упору. Досліджувана система рівномірно розподіляється в зазорі (4) між коаксиальними циліндрами (зовнішнім (1) і внутрішнім (2)). Системи витримували в термостаті (5) за певної температури (рис. 2.2.).

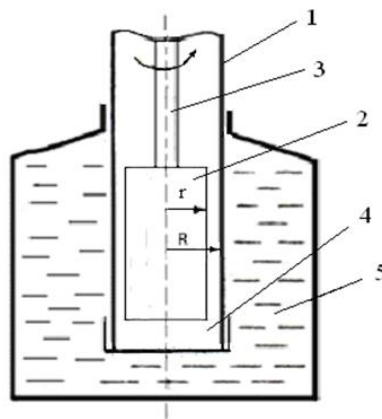


Рис. 2.2. Схема приладу «Реотест – 2»

За умови сталого напруження зсуву $P=const$ внутрішньому циліндру надають певну сталу швидкість деформації (їх дванадцять), при цьому зовнішній циліндр залишається нерухомим.

В ході дослідження реєстрували швидкість обертання рухомого циліндра (2) за допомогою потенціометра. Швидкість обертання циліндра пропорційна швидкості деформації досліджуваної системи P . На основі отриманих результатів будували повні реологічні криві ефективної в'язкості $\eta = f(P)$ (рис. 2.3) та плинності $\dot{\varepsilon} = f(P)$ (рис.2.4).

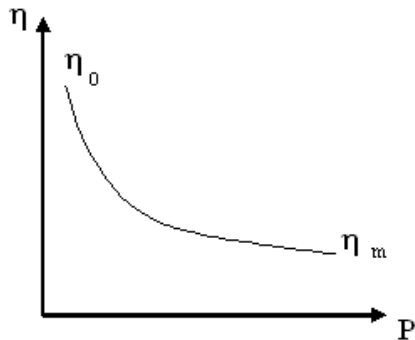


Рис. 2.3. Реологічні криві в'язкості

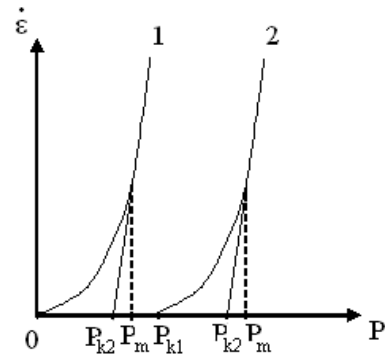


Рис. 2.4. Реологічні криві плинності

З отриманих кривих визначали реологічні параметри і аналізували реологічні характеристики отриманих модифікованих крохмалів:

- η_0, η_m – відповідно найбільша та найменша в'язкість системи, Па·с;
- $(\eta_0 - \eta_m)$ – величина аномалії в'язкості, характеризує міцність надмолекулярних коагуляційних структур, які утворюються у системі, Па·с;
- P_{k1} – умовна статична межа здатності до течії (напруження нижче якого відсутні пластичні деформації або вони дуже малі); відповідає значенню напруги при якому починається течія, Па;
- P_{k2} – умовна динамічна межа здатності до течії; визначали шляхом екстраполяції лінійної ділянки кривої течії до перетину з віссю абсцис, Па;
- P_m – верхня межа плинності, Па (напруга практично зруйнованої структури, характеризує міцність утвореного структурного каркасу);
- P_r – напруження практично незруйнованої структури, Па;
- P_{k1}/P_{k2} – характеризує міцність структурних зв'язків;
- P_m/P_{k1} – відношення межі міцності, характеризує діапазон напруги, у якому проходить руйнування структури;

- P_{kl}/η_0 – відношення умовної статичної межі течії до сталої в'язкості; це відношення є мірою здатності до пластичних деформацій; чим воно вище, тим більш пластична система у стані зруйнованих структур;

P_{kl}/η_m – відношення умовної динамічної межі течії до сталої в'язкості, чим воно вище, тим більш різко виражена здатність до миттєвого розрідження системи.

Віскографічні дослідження одержаних зразків модифікованого крохмалю було проведено за допомогою амілографа Брабендера (рис. 2.5).



Рис. 2.5. Зовнішній вигляд амілографа Брабендера

Дослідження картопляного і кукурудзяного зразків крохмалю проведені при наступних параметрах: до наважок зразків картопляного кукурудзяного нативного та кріомодифікованих крохмалів у кількості 23,2 г додавали по 476,7 мл води. Суспензію з вмістом сухих речовин 4% вносили в прилад, де при постійному перемішуванні відбувалася зміна температур із заданою швидкістю: нагрівання, витримка при температурі 90°C та охолодження. Результати аналізу в'язкості систем виведені у вигляді віскограм.

Визначення здатності крохмалю зв'язувати воду [136]. Здатність зерен крохмалю розчинятися у воді і клейстеризуватися залежать від температури і виду самого крохмалю. На цій підставі Шох і його співробітники розробили метод визначення здатності крохмалю до набрякання.

Для визначення здатності зв'язувати воду пробу крохмалю нагрівають в надлишку води до температури 55-95°C при постійному перемішуванні і визначають кількість води, зв'язаної набряклими крохмальними зернами.

У таровану центрифужну пробірку вносять 1,0 г крохмалю (кількість A на суху речовину) і 70 г води, нагрівають на водяній бані до температури $55,0 \pm 0,5$ °C, перемішують протягом 30 хв. Частоту обертання мішалки регулюють, щоб крохмальні зерна знаходилися в підвішеному стані (200 об/хв). Аналогічно готують інші зразки, витримуючи їх при температурі 60, 70, 80, 90°C. У всіх випадках підтримують однакову частоту обертання мішалки. Після 30 хвилин перемішування масу у склянці доводять до 80 г і центрифугують 10 хв при частоті обертання 2500 об/хв. Надосадову рідину, яка повинна бути прозорою, зливають. Масу залишку (R), яка складається з маси наважки A й маси зв'язаної води W , визначають зважуванням.

Кількість води (г), зв'язаної крохмалем (A), розраховують за масою залишку:

$$W = R - A, \quad (2.1)$$

де R – маса наважки після центрифугування; A – маса наважки до центрифугування.

Дослідження сорбційних властивостей модифікованого крохмалю [137]. Дослідження проводили на сорбційно-вакуумній установці Мак-Бена. На попередньо зневоднених зразках крохмалю здійснювали сорбцію водяної пари при температурі 20 °C і тиску від 0 до 18 мм рт. ст. до досягнення ним гігроскопічної вологості. Потім проводили десорбцію у рівноважних умовах. Результати представлені в координатній площині, де на вісі абсцис зображено значення відносного тиску пари води P/P_s , (що рівнозначно також активності води, так як $a_w = P/P_s$), а на вісі ординат – кількість адсорбованої води a , см³/г.

Кислотність і масову частку загальної золи крохмалів визначали згідно з затвердженими методиками (ДСТУ 4644:2006).

Визначення гідрофільності крохмалю індикаторно-рефрактометричним методом [138]. У хімічній склянці готують розчин сахарози заданої концентрації і беруть наважку 20 г. Концентрацію приготовленого розчину перевіряють на рефрактометрі і позначають як C_o . Далі зважують порожній бюкс з паличкою і

кришкою, потім зважують бюкс з наважкою близько 3...4 г крохмалю. У бюкс з крохмалем вливають 5...8 мл розчину сахарози при перемішуванні, знову зважують і ставлять у відстійник.

Коли в бюксі з'являється освітлений верхній шар рідини, за допомогою рефрактометра визначають вміст СР в ньому (рівноважна концентрація C_p).

Загальна кількість води x , зв'язаної наважкою крохмалю, становить:

$$x = \frac{A \cdot m}{100} + B \frac{C_p - C_0}{C_p} \quad (2.2)$$

де A – вологість крохмалю взятого для дослідження, %; m – маса повітряно-сухого крохмалю, взятого для дослідження, г; B – маса розчину сахарози, доданого до наважки крохмалю, г; C_0 – концентрація свіжоприготовленого розчину сахарози, %; C_p – рівноважна концентрація розчину, %.

Тоді гідрофільність W , виражена у відсотках до наважки сухої речовини:

$$W = \frac{x}{n} 100\% \quad (2.3)$$

де x – загальна кількість води, зв'язаної з крохмалем; n – маса сухої речовини у наважці крохмалю, г, яка розраховується за формулою:

$$n = m - \frac{A \cdot m}{100} \quad (2.4)$$

Визначення насипної густини [139]. Насипна густина адсорбентів характеризує відношення маси частинок до одиниці займаного ними об'єму з урахуванням об'єму пор і проміжків між частинками. Вона залежить від гранулометричного складу, форми частинок, способу їх виробництва, вологості та є змінною величиною. За насипною густиною оцінюють пористість адсорбентів, що вказує на селективність щодо утримування ароматичних речовин. Чим менші значення насипної густини, тим більшою пористістю характеризується адсорбент.

Для визначення насипної густини в циліндр об'ємом 10 мл насипати досліджуваний матеріал до позначки 1 см³. Після чого зважити цей об'єм порошку на аналітичних вагах.

Йодометричний метод визначення аскорбінової кислоти [140]. Метод ґрунтується на тому, що аскорбінову кислоту відтитровують йодом у кислому середовищі. Реакція відбувається за рівнянням:



Реакція між аскорбіновою кислотою і йодом відбувається еквімолекулярно, тому на окиснення 176 вагових частин аскорбінової кислоти витрачається 2·126,92 вагових частин йоду. Таким чином, 1 см³ 0,1 н розчину йоду окислює 8,8 мг аскорбінової кислоти, а 1 см³ 0,001 н розчину йоду – 0,0088 мг.

Йодометричний метод застосовують для визначення вітаміну С в аскорбінових препаратах або в рослинній сировині.

Для визначення середню пробу аскорбінової кислоти добре перемішують скляною паличкою і відбирають три наважки по 1 г з точністю до 0,0002 г. За допомогою дистильованої води кожену наважку кількісно переводять у мірну колбу на 100 см³ з притертим корком і після розчинення вміст колби доводять водою до позначки, після чого добре перемішують. Розчин аскорбінової кислоти з кожної колби титрують окремо.

Розчин аскорбінової кислоти з кожної колби титрують так: 10 см³ розчину переносять до колби Ерленмеєра на 50 см³, додають 2 см³ 0,5%-го розчину крохмалю і титрують з бюретки 0,1 н розчином йоду до одержання стійкого синього забарвлення. Окремо з'ясовують витрату йоду на холостий дослід.

Вміст аскорбінової кислоти X, мг % розраховують за формулою:

$$X = \frac{V_1 \cdot 0,0088 \cdot V_2 \cdot 100}{V \cdot m}, \quad (2.5)$$

де V_1 – відповідає витраті йоду на одне титрування, см³; 0,0088 – кількість аскорбінової кислоти, що відповідає 1 см³ точно 0,1 н розчину йоду; V_2 – об'єм, до якого доведена наважка екстрагуючою рідиною, см³; V – кількість екстракту, яку взято на титрування, см³; m – наважка, г.

З метою вивчення отриманого продукту інкапсуляції кверцетину у пористому крохмалі нами був використаний метод УФ-видимої спектроскопії виконаний на приладі Thermo scientific Evolution 600, uv-vis.

Рентгенофазовий аналіз (РФА) вихідних форм крохмалю, кверцетину та одержаного продукту інкапсуляції проведено на рентгенівському дифрактометрі ДРОН-М1 з двома щілинами Солера з фільтрованим $\text{CoK}\alpha$ -випромінюванням при швидкості зйомки $1^\circ/\text{хв}$.

Аналіз термостійкості матеріалів виконано в дериватографі Q-1000, фірми МОМ (Угорщина), в конічному платиновому тиглі без кришки. Швидкість нагрівання зразків $7,4 \text{ K}/\text{хв}$. Як еталон використано оксид алюмінію.

Кількісне визначення тимолу [141]. Для визначення наважку дослідної речовини, яка містить 2-4 мг тимолу, розчиняють в 2 %-вому розчині NaOH і цим же розчином доводять об'єм до 100 мл. Якщо для аналізу беруть рослинний матеріал, то його подрібнюють, струшують з підкисленою водою і екстрагують тимол. Екстракт збирають у колбу, яка містить 20 %-вий розчин NaOH , і розбавляють водою в 10 разів. Відбирають 3 мл отриманого лужного розчину і додають суміш 4 мл 0,5 %-вого розчину сульфанілової кислоти, 1 мл розбавленої (1:50) H_2SO_4 і 2 мл 5 %-вого розчину NaNO_2 . Через 1-2 хв вимірюють оптичну густину при довжині хвилі 470 нм.

Визначення ступеня резистентності модифікованого крохмалю [142]. Резистентність визначали *in vitro* за методикою з використанням препарату «Панкреатин», що містить травні ферменти, за залишковим вмістом редукувальних речовин після ферментативного гідролізу крохмалю.

Для визначення ступеня резистентності зважували 2 г досліджуваного крохмалю додавали 10 см^3 дистильованої води і 10 см^3 розчину препарату «Панкреатин» (готували розчин об'ємом 100 см^3 , що буде дорівнювати 4500 амілолітичним одиницям активності), зразки витримували на водяній бані за температури 37°C , час витримання становив 60 хв. Після цього відокремлювали рідку фазу від крохмалю, відбирали фільтрат об'ємом 1 см^3 і досліджували на вміст в ньому редукувальних речовин (в перерахунку на глюкозу) за допомогою кольорової реакції з 3,5-динітросаліциловою кислотою. Кількість РР дає уявлення про розщеплення крохмалю травними ферментами протягом години.

Кількість редукувальних речовин (РР) в перерахунку на глюкозу, утворених внаслідок гідролізу модифікованого і нативного видів крохмалю, ферментним препаратом «Панкреатин», визначали методом з 3,5-динітросаліциловою кислотою. Для визначення кількості РР в перерахунку на глюкозу в досліджуваних зразках використовували калібрувальний графік.

Для порівняння кексів, отриманих з додаванням модифікованого РК і за базовою рецептурою (контроль), використовували методи оцінювання в балах за розробленою 30-бальною шкалою і побудови багатокутників якості [143].

Глікемічність готових кексів визначали за методикою розрахунку показника глікемічності (ПГ) харчового продукту. Що полягає у визначенні сум добутків значення глікемічного індексу кожного вуглеводу та кількості вуглеводів в 100 г харчового продукту [144].

Загальний хімічний склад і енергетичну цінність досліджуваних майонезних соусів визначено за стандартними методиками, амінокислотний склад – аналітичним методом [145].

Стійкість емульсії – умовна одиниця, що показує на % незруйнованої емульсії, яка залишилася після проведення досліджень на стійкість – визначали згідно з затвердженою методикою (ГОСТ 30004.2).

Органолептичну оцінку якості зразків майонезного соусу досліджено методом профільного аналізу з оцінкою інтенсивності окремих ознак за 5-бальною шкалою і побудовою багатокутників якості (ДСТУ ISO 11035:2005).

Висновки за розділом 2

1. Для вирішення поставленої наукової задачі розроблено алгоритм дослідження, який включає теоретичний аналіз, фізичний експеримент, практичну апробацію. Визначено методологію організації досліджень. Розроблено схему досліджень, яка передбачає системний аналіз модифікованого пористого крохмалю.

2. За об'єкт дослідження було обрано технологію модифікованого резистентного крохмалю для інкапсулювання біологічно активних речовин і технології борошняних кондитерських виробів (кексів) і майонезних соусів оздоровчого призначення з використанням розробленого крохмалю. Предметами досліджень було визначено сталу харчову сировину, речовини для інкапсулювання, ферменти.

3. Представлено загальний опис способів отримання модифікованого і збагаченого резистентного крохмалю.

4. Обрано загальноприйняті і оригінальні методи дослідження харчової цінності, структурно-механічних, фізико-хімічних, органолептичних властивостей резистентного пористого крохмалю, а також збагаченого модифікованого крохмалю. Обґрунтовано застосування комплексу методів дослідження, що дозволяють повною мірою охарактеризувати якість розроблених харчових продуктів з використанням збагаченого модифікованого крохмалю – кексу, майонезного соусу.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПОРИСТОГО КРОХМАЛЮ І ВИВЧЕННЯ ЙОГО ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

3.1. Дослідження способу отримання пористого крохмалю. Вплив технологічних умов на вихід і властивості пористого крохмалю

В основу розроблення модифікованого крохмалю для інкапсулювання БАР покладено відомості про можливість утворення пористої структури крохмалю за певних способів фізичного оброблення. Наявність внутрішньої розвиненої поверхні пор має сприяти адсорбуванню низькомолекулярних речовин з водних розчинів. Завдяки таким властивостям пористий крохмаль можна застосовувати у якості гідрофільного носія для поглинання біологічно активних речовин [146].

Для отримання пористого крохмалю було використано відомості про те, що охолодження колоїдних систем до температури замерзання і нижче, часто призводить до коагуляції внаслідок ущільнення просторої сітки при замерзанні дисперсійного середовища. Причому коагуляція тим повніша, чим нижча температура, до якої охолоджено колоїдну систему, і чим довше вона перебуває в замерзломому стані. Крохмальні молекули гідрофільні, при нагріванні у воді вони здатні збільшуватись у об'ємі в декілька разів, сорбуючи значну кількість води (близько 1000 % до маси абсолютно сухої речовини). За певної температури полісахариди крохмального зерна переходять у розчин, утворюючи драгледоподібну систему залежно від концентрації крохмалю. Для високомолекулярних сполук найбільш енергетично вигідною конформацією в розчині є подвійна спіраль, яка формується за рахунок утворення великої кількості внутрішньомолекулярних водневих зв'язків. При глибокому заморожуванні клейстерів крохмалю утворення кристалів льоду призводить до ущільнення просторової сітки полісахаридів та формування внутрішніх каналів [147, 148].

Технологія модифікованого пористого крохмалю включає процеси приготування водних суспензій крохмалю, нагрівання і клестеризацію до отримання однорідного клейстеру. Процес клестеризації крохмалю у лабораторних умовах

проводили з використанням поля НВЧ у мікрохвильовці, що забезпечувало прискорення процесу і отримання однорідного клейстеру за нижчих температур. Приготування пористого крохмалю доцільно проводити так, щоб водні клейстери крохмалю концентраціями 5 – 20 % повільно замерзали при температурах від –5 до –18 °С. При приготуванні дисперсій необхідно уникати сильної механічної дії (струшування, помішування, гомогенізація і т.д.), щоб не зруйнувати набухлі крохмальні зерна. Після заморожування клейстеру протягом 24 годин, масу повільно розморожували за кімнатної температури. Внаслідок відтавання зразків отримували пористу губчасту структуру, з якої витискали воду, зневоднювали і висушували. Отримана після відтавання структура була досить міцною та пластичною щодо деформацій, здатною відновлюватися після зняття навантаження. Сушіння проводили за температури 30-40 °С конвективним способом, зразки подрібнювали та просіювали.

Залежність між концентрацією крохмального клейстеру і кількістю та розмірами пор у модифікованому крохмалі:

- при заморожуванні неконцентрованих клейстерів (3...5 %) утворюються пористі крохмалі з широким діапазоном діаметрів пор, та різниця їх по групам невелика;
- з підвищенням концентрації до 15...20 % діапазон пор звужується, а різниця в кількості пор по групам збільшується, і серед загальної їх маси кількісно переважають найбільш дрібні пори [149].

3.2. Дослідження структури, фізико-хімічних і реологічних властивостей модифікованого пористого крохмалю

3.2.1 Дослідження внутрішньої структури

Внаслідок заморожування-відтавання клейстерів кукурудзяного крохмалю невисоких концентрацій (5, 10 %) з подальшим зневодненням, висушуванням і подрібненням було отримано зразки пористого крохмалю. За допомогою

скануючого електронного мікроскопу LEO 1420 (Germany) досліджували структуру зразків пористого крохмалю. На мікрофотознімках видно систему пор, яка утворюється під час послідовного заморожування і відтавання крохмального клейстеру, що свідчить про можливість подальших досліджень щодо застосування кріомодифікованого крохмалю у якості гідрофільного носія для біологічно активних низькомолекулярних речовин.

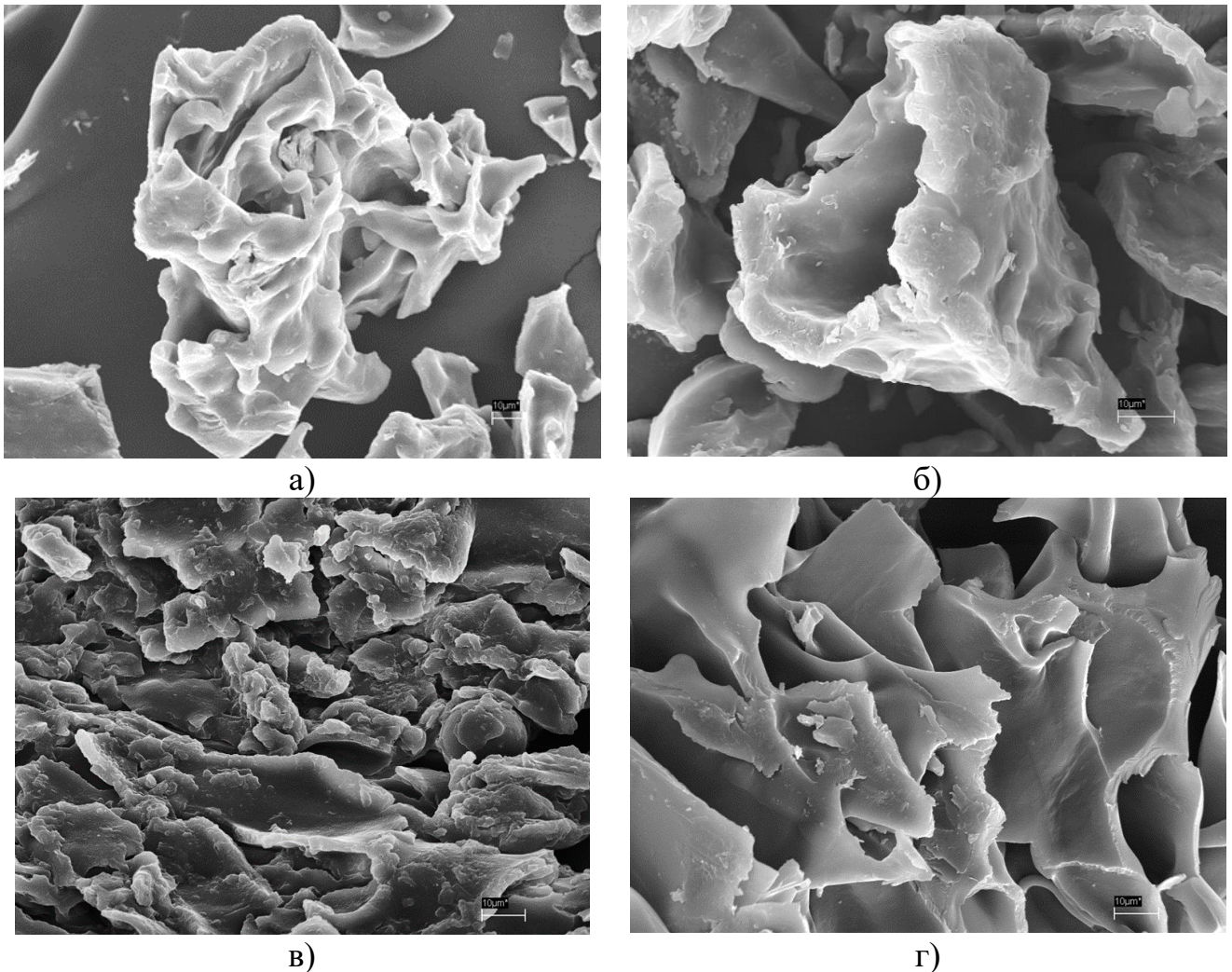


Рис.3.1. Скануючі електронні мікрофотографії кукурудзяного (а, б) і картопляного (в, г) модифікованих крохмалів, отриманих заморожуванням-відтаванням клейстерів різної концентрації: а), в) 5 %; б), г) 10 %

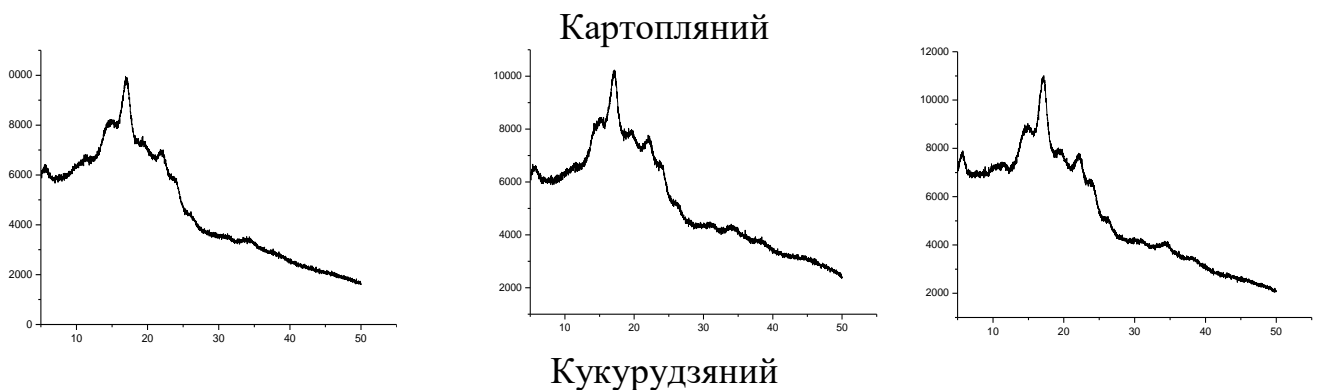
Зображення, отримані нами (рис. 3.1), дають уявлення про внутрішню структуру пористого крохмалю. Утворення модифікованого крохмалю відбувається в результаті перетворення води, зв'язаної полісахаридами крохмалю при клейстеризації, на лід. При цьому, внаслідок зміни об'єму кристалізованої води

структура полісахаридів ущільнюється і зміцнюється за рахунок великої кількості водневих зв'язків, що супроводжується явищем ретроградації крохмалю. При відтаванні льоду вода легко відокремлюється від пористого крохмалю. В частково зневодненому і сухому стані кріотекстурати крохмалю, отримані внаслідок заморожування клейстерів невисоких концентрацій, подібні до мікрокапсул, що мають високорозвинену внутрішню поверхню пор і здатні адсорбувати, утримувати біологічно активні речовини і створювати для них захисну оболонку від дії чинників зовнішнього середовища. Така оболонка забезпечує стабільність вітамінів, чутливих до ультрафіолетового випромінювання, світла, кисню, присутності металів, вологості та температурних змін.

Для підтвердження даного висновку необхідно дослідити структуру і сорбційні властивості пористого крохмалю.

3.2.2. Дослідження змін кристалічності крохмалю при модифікації за допомогою рентгенофазового аналізу

Відомо, що крохмальна гранула має аморфно-кристалічну структуру і є сферокристалом. Кристалічності (впорядкованості) надає крохмалю амілопектин. Ступінь кристалічності нативного крохмалю знаходиться в межах 35-42 %. З метою визначення впливу заморожування-відтавання клейстерів на ступінь кристалічності крохмалю було проведено рентгенофазовий аналіз (рис. 3.2).



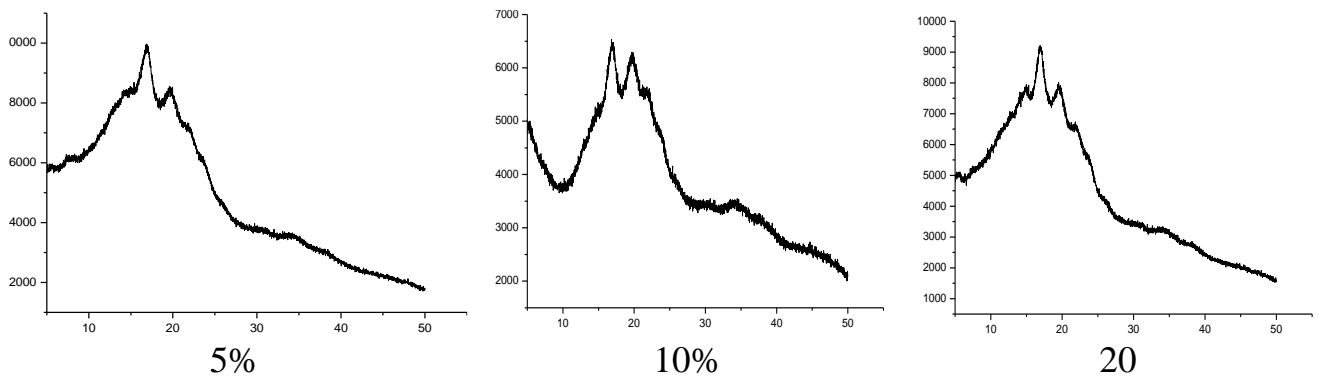


Рис. 3.2. Рентгенограми пористого крохмалю отриманого з клейстерів концентрацією 5, 10, 20 %

З аналізу рентгенограм (табл. 3.1) модифікованих крохмалів, отриманих з клейстерів різної концентрації, а саме 5, 10, 20 %, було встановлено, що і для кукурудзяного, і для картопляного крохмалів ступінь кристалічності залежить від концентрації клейстеру, підданого заморожуванню-відтаванню. Через перегрупування зв'язків між полісахаридами кристалічність крохмального зерна втрачається, але в ході заморожування клейстеру формується нова структура.

Таблиця 3.1

Фазовий аналіз різних видів модифікованого крохмалю

№ п/п	Тип крохмалю	Відносний ступінь кристалічності, %
Модифікований крохмаль отриманий з клейстеру концентрацією		
Кукурудзяний		
	Нативний	35
1	5 %	30,6
2	10 %	34,2
3	20 %	40,9
Картопляний		
	Нативний	42
1	5 %	31,9
2	10 %	43
3	20 %	53,5

З даних таблиці 3.1 видно, що зі збільшенням концентрації крохмального клейстеру, який піддавали заморожуванню, зростає ступінь кристалічності, причому для картопляного крохмалю ця залежність виражена більше, можливо тому, що картопляний крохмаль відноситься до типу кристалічності В, що містить більше зв'язаної води в елементарній комірці полісахариду. Таким чином, в результаті дослідження фазової структури різних видів крохмалю встановлено, що ступінь кристалічності пористого крохмалю залежить від концентрації клейстеру, підданого заморожуванню-відтаванню.

3.2.3 Дослідження реологічних властивостей пористих модифікованих крохмалів

Методику проведення дослідження описано у п. 2.3.2. За отриманими результатами дослідження будували повні реологічні криві в'язкості системи та плинності. При обробці кривих розраховували параметри, які характеризують міцність і плинність системи, а також їх основні співвідношення (табл.3.2) [1, 2].

Таблиця 3.2

Результати реологічного дослідження зразків модифікованого крохмалю

Зразок модифікованого крохмалю отриманого з клейстеру концентрацією	η_0 , Па·с	η_m , Па·с	$\eta_0 - \eta_m$	P_{k1}	P_{k2}	P_m	P_{k1}/P_{k2}	P_m/P_{k1}
Картопляний								
5%	111,6	1,53	110,07	100	280	500	0,36	5,00
10%	89,28	2,55	86,73	60	490	860	0,12	14,33
Кукурудзяний								
5%	167,4	1,78	165,62	100	660	720	0,15	7,20
10%	55,8	1,10	54,70	45	160	325	0,28	7,22

Аналіз реологічних кривих показав, що кукурудзяний модифікований крохмаль, отриманий з 5% клейстеру, утворює найбільш міцну надмолекулярну

структуру, але найміцніший структурний каркас сформувався у зразків картопляного модифікованого крохмалю отриманого з 10% клейстеру, та кукурудзяного – з 5 % клейстеру. Слід зазначити, що усі модифіковані крохмалі при нагріванні у воді і клейстеризації утворювали твердоподібні структуровані системи (рис. 3.3).

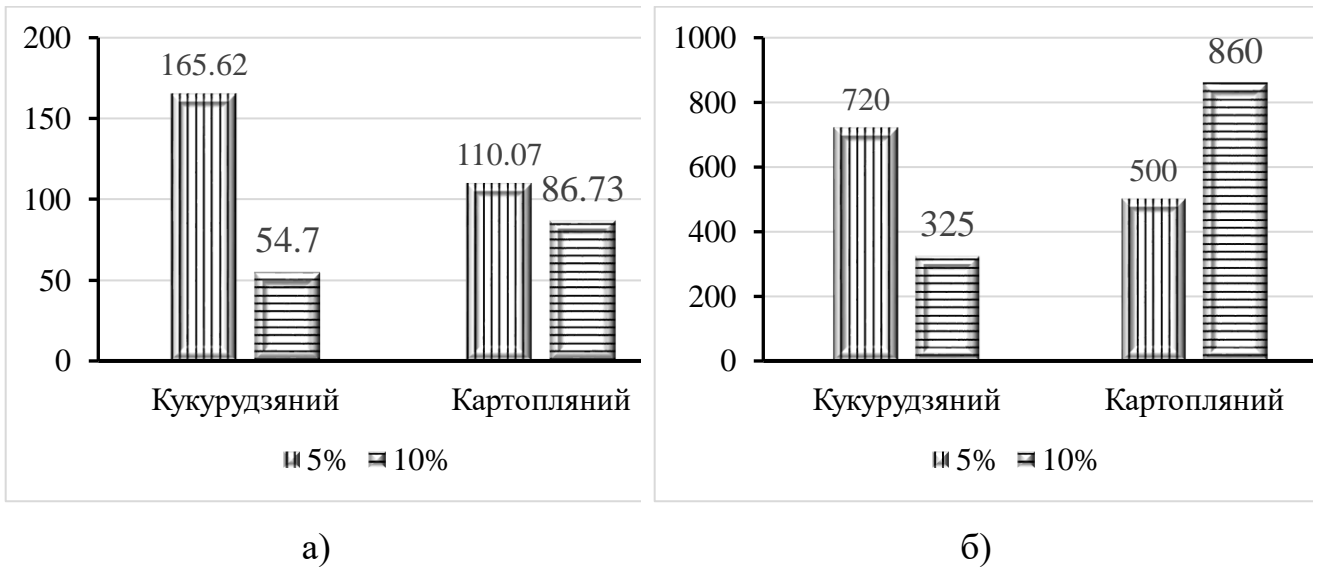


Рис. 3.3. Характеристика міцності: а) надмолекулярної структури системи;
б) утвореного структурного каркасу

З отриманих даних встановлено, що за однакової концентрації сухих речовин клейстеру, який піддавали заморожуванню-відтаванню, здатність пористого крохмалю до утворення структурованих систем залежить від виду вихідного крохмалю. Проте, концентрація клейстеру, який піддавали заморожуванню, впливає на реологічні властивості отриманого пористого крохмалю. Найміцнішу надмолекулярну структуру утворюють при нагріванні суспензії картопляного і кукурудзяного пористих крохмалів, отриманих з клейстерів концентрацією 5 %, а найміцніший структурний каркас сформувався у системі з картопляного пористого крохмалю, отриманого заморожуванням 10 %-го клейстеру.

3.2.4 Визначення здатності крохмалю зв'язувати воду

Властивості зерен крохмалю розчиняться у воді і клейстеризуватися залежать від температури і виду крохмалю. На основі цього Шох та ін. розробили метод визначення водозв'язувальної здатності крохмалю, як характеристики,

пов'язаної з набряканням і структуроутворенням нативних і модифікованих крохмалів [136].

Для дослідження взяли модифіковані картопляний і кукурудзяний крохмалі, отримані з клейстерів концентрацією 5, 10, 15, 20 %. Для визначення властивості крохмалю зв'язувати воду пробу крохмалю нагрівали до температури 60-90 °С у надлишку води при постійному перемішуванні і визначали кількість води, зв'язаної набряклими зернами крохмалю за формулою 2.1 (див. п. 2.3.2).

Таблиця 3.3

Результати дослідження здатності крохмалю зв'язувати воду

Зразок крохмалю	Кількість води, зв'язаної 1 г крохмалю при t=			
	60°C	70°C	80°C	90°C
Кукурудзяний модифікований 5%	8,96	9,55	11,03	8,54
Картопляний модифікований 5%	15,25	16,71	18,85	18,89
Кукурудзяний модифікований 10%	9,05	11,11	9,99	9,98
Картопляний модифікований 10%	14,38	15,11	16,86	17,75
Кукурудзяний модифікований 15%	8,91	11,34	9,03	8,90
Картопляний модифікований 15%	12,92	13,51	14,18	14,83
Кукурудзяний модифікований 20%	10,64	8,98	9,67	9,81
Картопляний модифікований 20%	12,97	15,07	15,54	16,04

За даними таблиці чітко видно, що модифіковані крохмалі, отримані з картопляного нативного крохмалю, краще зв'язують воду ніж пористі крохмалі, отримані з кукурудзяного крохмалю. Також спостерігаємо, що при температурі 90°C у картопляного модифікованого крохмалю водозв'язувальна здатність найвища. Для кукурудзяного модифікованого крохмалю найвищу водозв'язувальну здатність спостерігаємо для кожної концентрації вихідного клейстеру при різних температурах: 5% – 80°C, 10% і 15% – 70°C, 20% – 60%.

3.2.5 Дослідження сорбційних властивостей модифікованого крохмалю

Ізотерми сорбції – це графічна залежність кількості адсорбованої речовини від концентрації або рівноважного тиску за сталої температури $a=f(P)$. Залежно від зовнішніх умов, природи адсорбенту і адсорбтиву сорбція може відбуватися з утворенням на поверхні полімолекулярного адсорбційного шару. Отримані нами криві відповідають описаним характеристикам для полімолекулярного сорбційного шару і мають більш складний вигляд (рис. 3.4).

Як видно з графіків сорбції парів води, усі зразки мають однакову сорбційну структуру, бо їх графіки майже співпадають і накладаються один на одний.

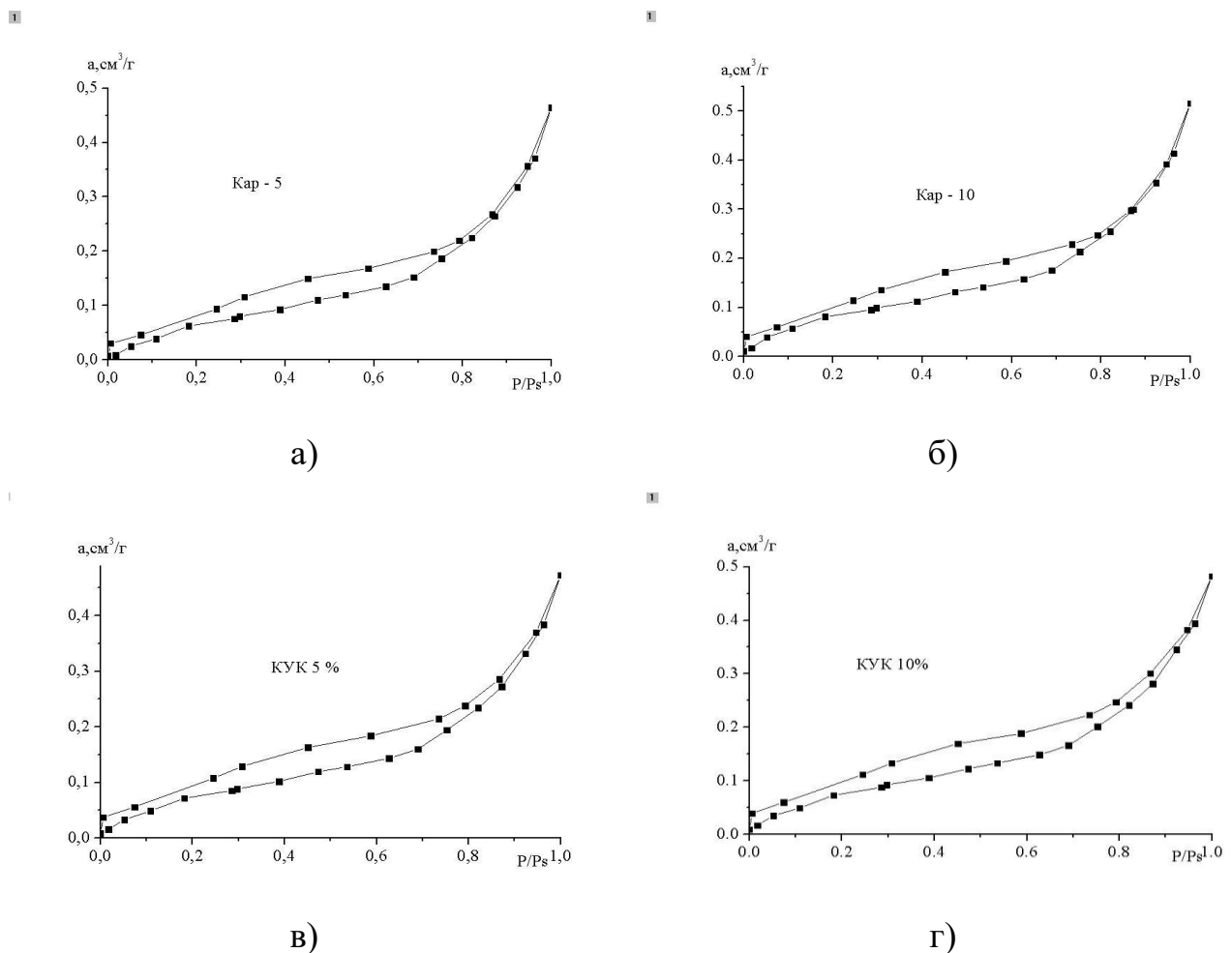


Рис. 3.4. Ізотерми сорбції-десорбції води зразками крохмалю, отриманими з клейстерів концентрацією: картопляний: а) – 5%, б)– 10%; кукурудзяний: в) – 5%, г) – 10%.

Спостерігаючи за характером кривих сорбції (рис. 3.4) бачимо, що найнижче розташований графік модифікованого картопляного крохмалю, отриманого з клейстеру концентрацією 5%, бо у нього об'єм сорбційних пор $V_s=0,46 \text{ см}^3/\text{г}$, а найвище – графік зразка модифікованого картопляного крохмалю, отриманого з 10% крохмального клейстеру, бо у нього об'єм сорбційних пор $V_s=0,52 \text{ см}^3/\text{г}$ (табл.3.4).

Таблиця 3.4

**Структурні характеристики зразків модифікованих видів крохмалю, які
були зняті у парах води**

№п\п	Назва зразку модифікованого виду крохмалю	S, м ² /г	R ²	V _s , см ³ /г	D, А
1.	Кукурудзяний 5% .	251	0,9900	0,47	75
2.	Кукурудзяний 10%	259	0,9877	0,48	74
3.	Картопляний 5%	251	0,9696	0,46	73
4.	Картопляний 10%	280	0,9920	0,52	74

S , м²/г – питома адсорбційна поверхня зразків (моношар, верхній шар)

V_s , см³/г– сорбційний об'єм пор зразків (найбільша кількість води, яку може взяти зразок при 20 °С з тиском 17,54 мм р.с.)

R^2 – квадрат похибки розрахунку питомої адсорбційної поверхні

D , А – діаметр пор у ангстремах, ($D, A = 4V_s : S$).

У сучасних наукових лабораторіях широко використовують метод БЕТ для визначення питомої активності поверхні адсорбенту за низькотемпературною адсорбцією простих речовин. Метод БЕТ – це теорія полімолекулярної адсорбції пари на твердих, гладких і пористих адсорбентах, згідно з якою на активних точках поверхні адсорбенту при певних умовах можуть утворюватися конденсовані полімерні шари. У випадку тонкопористих адсорбентів (радіус пор порядку 10^{-9} м) важко говорити про правильне заповнення адсорбційних шарів – як і при адсорбції на гладких поверхнях. Здатність до адсорбції збільшується зі зменшенням радіуса пор; у місцях звуження пор адсорбція посилюватиметься порівняно з адсорбцією в

місцях з широкими порами. Тому, застосування теорії БЕТ для розрахунку адсорбції дрібнопористими адсорбентами ускладнене і визначення питомої активної поверхні адсорбенту S за величиною a не завжди дає правильні результати і не підходить для розрахунку наших показів для модифікованих видів крохмалю [150].

При детальному розгляді ізотерм сорбції, в діапазоні $P/P_s=0,0-0,9$ спостерігаємо хвилеподібний характер кривих, що може свідчити про утворення першої та другої гідратних оболонок навколо активних поверхневих центрів крохмалю.

Також, характер кривих може свідчити про часткову хемосорбцію, оскільки після закінчення досліду, криві не спали до показника нуль на вісі ординат. Це підтверджує факт того, що модифікований крохмаль доцільно буде використати як адсорбент. Крохмаль може сорбувати поверхнево активні речовини з вуглеводневих середовищ, оскільки взаємодія між полярним адсорбентом і вуглеводневим середовищем незначна. Цей вплив на адсорбцію підлягає правилу Ребіндера – процес адсорбції іде в бік вирівнювання полярності фаз, і тим сильніше, чим більше початкова різниця полярності [151].

На графіках розподілу пор за радіусами (рис. 3.5) спостерігаємо, що кількість пор діаметром 10 ангстрем (вона дорівнює поверхні, яку займає площа між перпендикулярами, які спускаються від ординати у 0,006 DV/DR і від крайнього значення кривої у 30 ангстрем) у картопляного модифікованого крохмалю, отриманого з клейстеру концентрацією 5 %, більша, ніж у крохмалю з 10 %-го клейстеру. У кукурудзяних зразків також спостерігається збільшення діаметру пор при пониженні концентрації крохмального клейстеру.

З графіку розподілу пор за радіусами можна зробити висновок, що зі збільшенням концентрацій клейстерів з 5 до 10 %, як для картопляного, так і для кукурудзяного крохмалів середній діаметр пор зменшується. Взагалі, у пористих крохмалів, отриманих внаслідок фізичної модифікації шляхом заморожування-відтавання крохмальних клейстерів утворюється однорідна структура з порами середнього розміру (один широкий пік на кривих розподілу) (рис. 3.5, а, б), в той

п. 2.3.2. Результати віскозиметричного аналізу в'язкості системи наведені у вигляді віскограм (рис. 3.6). З позицій технології, вивчення процесу клейстеризації крохмалю в ході зміни температурного режиму дає уявлення про формування структури виробів, у які вносять даний крохмаль. Зміни крохмалю при клейстеризації мають вирішальне значення для утворення структури виробів необхідної якості.

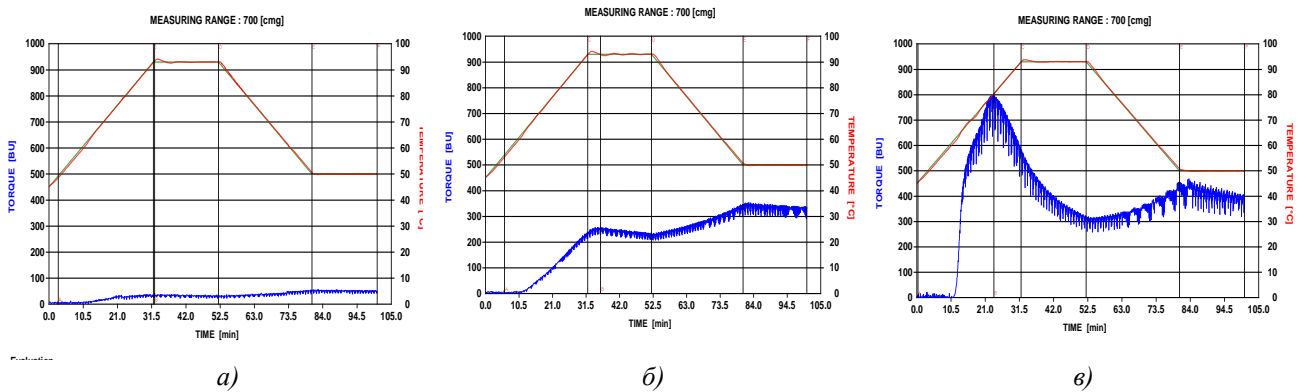


Рис.3.6. Віскограми зразків картопляного крохмалю:

а) пористий – 5 % клейстер; б) пористий – 10 % клейстер; в) нативний

Судячи з віскограм, при заморожуванні та відтаванні крохмального клейстеру, структура крохмалю руйнується і значно зменшується його здатність до набрякання і утворення в'язких систем. Причому, закономірність спостерігається така – при зменшенні концентрації картопляного крохмального клейстеру з 10% до 5%, в'язкість суспензії модифікованого крохмалю при нагріванні значно зменшується. Вочевидь, що більше зв'язаної води (незамерзаючої) містить крохмальний клейстер перед заморожуванням, тим менше проходить деструкція полісахаридів крохмалю в циклах заморожування-відтавання. Віскозиметричний аналіз показав різницю у поведінці при термічній обробці кріомодифікованих та нативних зразків картопляного крохмалю. Це дає підстави вважати, що використання модифікованого картопляного крохмалю, отриманого з 5 %-го клейстеру, як структуроутворювача у харчових системах, що підлягають нагріванню та термічній обробці, не буде виправданим.

3.2.7 Вплив концентрації крохмального клейстеру на гідрофільність пористих крохмалів

Гідрофільність (від др.-грец. ὕδωρ - вода і φίλια - любов) – характеристика інтенсивності молекулярної взаємодії речовини з водою, здатність добре вбирати воду, а також висока змочуваність поверхонь водою. Гідрофільність характеризується величиною адсорбційного зв'язку молекул речовини з молекулами води, утворенням з ними сполук і розподілом кількості води за величинами енергії зв'язку [152].

Для проведення дослідження використовували індикаторно-рефрактометричний метод визначення гідрофільності зразків крохмалю залежно від концентрації крохмального клейстеру, взятого для заморожування-відтавання. Опис методики дослідження див. п. 2.3.2. Гідрофільність розраховуємо за формулами 2.2, 2.3, 2.4.

Дані, щодо гідрофільності, отримані в ході експерименту, представлені на рисунку 3.7.

За даними діаграми (рис. 3.7) гідрофільність модифікованих пористих крохмалів значно перевищує гідрофільність нативних видів. Так, для нативного кукурудзяного крохмалю значення гідрофільності 33,5 %, а для модифікованого кукурудзяного крохмалю, отриманого з клейстеру концентрацією 5 % – 122,7 % і зростає зі збільшенням концентрації крохмального клейстеру, який піддавався процесам заморожування-відтавання.

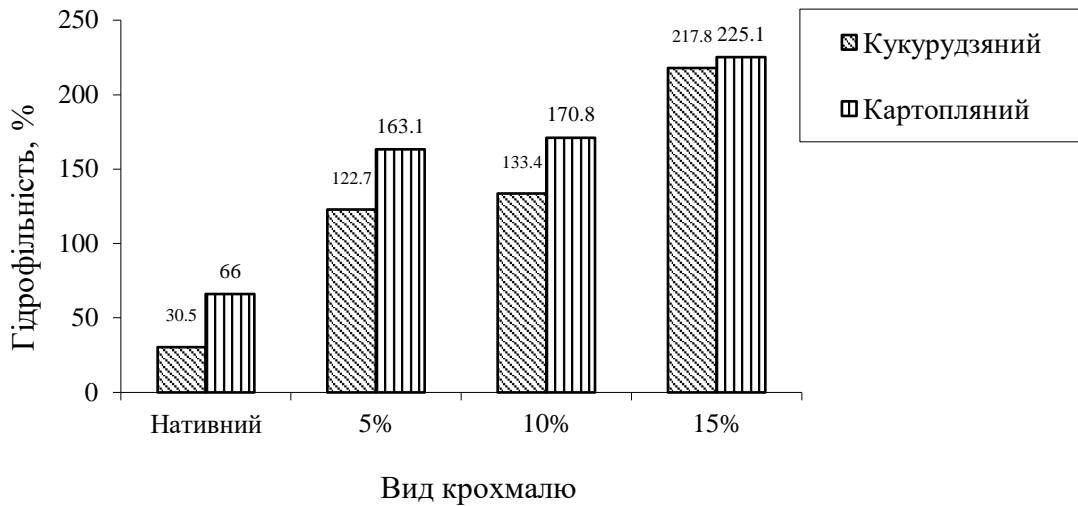


Рис. 3.7. Залежність значення гідрофільності від виду крохмалю: нативного чи отриманого заморожуванням клейстерів різних концентрацій (5, 10, 15%)

Картопляний крохмаль має більше значення гідрофільності ніж кукурудзяний. Так, для нативного крохмалю значення гідрофільності становить 66%, а для модифікованого, отриманого з 5 % клейстеру – 163,1 % і зростає так само зі збільшенням концентрації крохмальних клейстерів.

3.2.8. Визначення насипної густини

Значення густини може дати багато цінної інформації про будову пор адсорбенту. Загальний об'єм пор можна розрахувати, виходячі зі значень величин уявної і дійсної густини адсорбенту. Мак-Бен запропонував виокремити чотири групи густини: насипна густина (або об'ємна маса) – вага адсорбенту в одиниці об'єму рідини; уявна густина (або густина зерен), що визначається витісненням рідини, яка не може проникати в пори адсорбента; питома вага, яку визначають витісненням рідини, яка частково або повністю проникає в пори адсорбенту; дійсна густина, яка відноситься до маси компактного твердого матеріалу, з якого складається адсорбент. Питома вага може враховувати лише частину капілярних пор, уявна густина – весь об'єм пор, а насипна – простір між гранулами [153].

Для визначення насипної густини нативних і модифікованих крохмалів брали циліндр місткістю 10 мл і насипали досліджуваний зразок до мітки 1 см³, після цього зважували і розраховували значення насипної густини як співвідношення об'єму крохмалю до його маси. Отримані результати представлено на рис. 3.8.

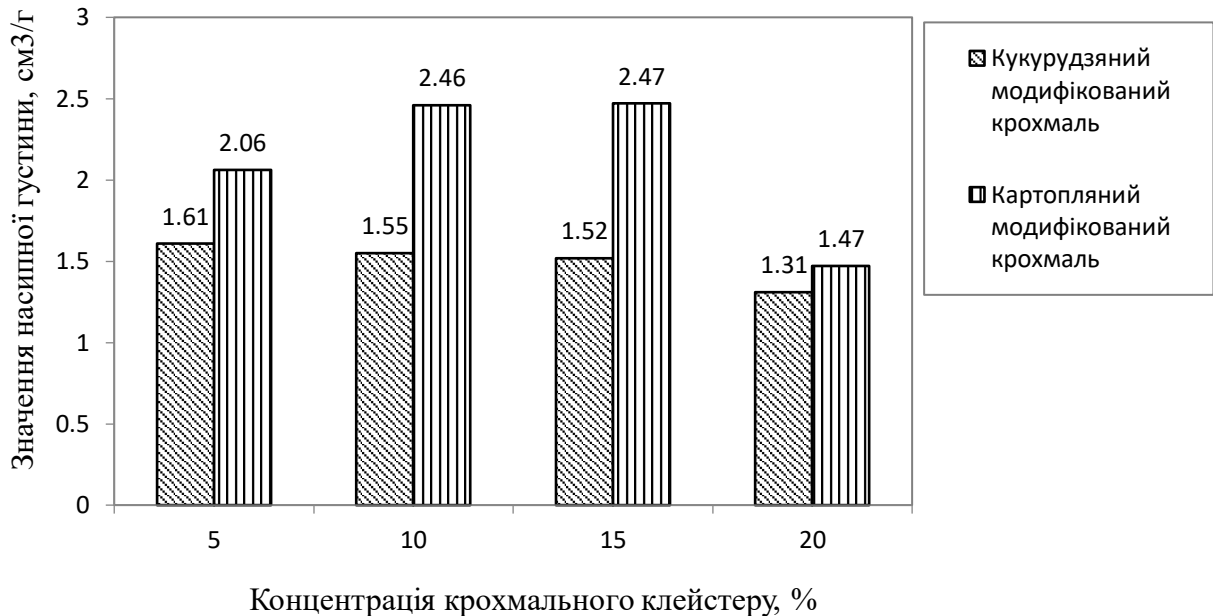


Рис. 3.8. Залежність насипної густини від концентрації клейстеру і виду крохмалю, з якого отримано модифікований крохмаль

Із отриманих даних видно, що картопляний модифікований крохмаль має більшу насипну густину ніж кукурудзяний. Найбільшу насипну густину – 2,47 см³ має картопляний модифікований крохмаль, отриманий з клейстеру концентрацією 15 %, а найменшу кукурудзяний крохмаль, отриманий з 20 %-го клейстеру – 1,31 см³. Для кукурудзяного модифікованого крохмалю зі збільшенням концентрації крохмального клейстеру його насипна густина зменшується, а насипна густина картопляного крохмалю зростає зі збільшенням концентрації до 15 % і зменшується при значенні концентрації 20 %. Найменше значення насипної густини спостерігаємо для кукурудзяного і картопляного крохмалів, отриманих з 20 % клейстерів, що піддавались заморожуванню. Даний факт можна пояснити утворенням більш дрібних пор при заморожуванні концентрованого крохмального клейстеру в обмеженому об'ємі води.

3.3. Розроблення апаратурно-технологічної схеми виробництва пористого крохмалю

На підставі проведених експериментальних досліджень встановлено, що для приготування пористого модифікованого крохмалю можна використовувати природний кукурудзяний і картопляний крохмаль. Концентрація крохмальної суспензії впливає на властивості модифікованого крохмалю. При підвищенні концентрації суспензії, яку піддали заморожуванню, розміри пор у готовому модифікованому крохмалі зменшуються, що впливає на гідрофільність і сорбційні властивості. Процес нагрівання крохмальної суспензії до повної клейстеризації крохмалю можна прискорити використанням випромінювання надвисокої частоти (НВЧ). Нами запропоновано принципову схему виробництва модифікованого крохмалю.

За допомогою методів математичного моделювання та оптимізації дослідних даних, встановлено, що оптимальна концентрація кукурудзяного крохмального клейстеру для досягнення максимальної кількості інкапсульованої аскорбінової кислоти становить 11%, а концентрація аскорбінової кислоти 7,2%. Для картопляного крохмалю значення дещо інші, концентрація клейстеру повинна становити 13,25%, а концентрація аскорбінової кислоти 9,2% (див. додаток Г).

Принципова технологічна схема виробництва пористого крохмалю складається з наступних операцій (рис. 3.9): приготування суспензії крохмалю концентрацією 5 – 10 %, клейстеризація у полі НВЧ або при нагріванні паром, швидке охолодження і заморожування крохмального клейстеру за температури -18°C протягом 24 годин, відтавання, зневоднення, подрібнення і сушіння модифікованого крохмалю.

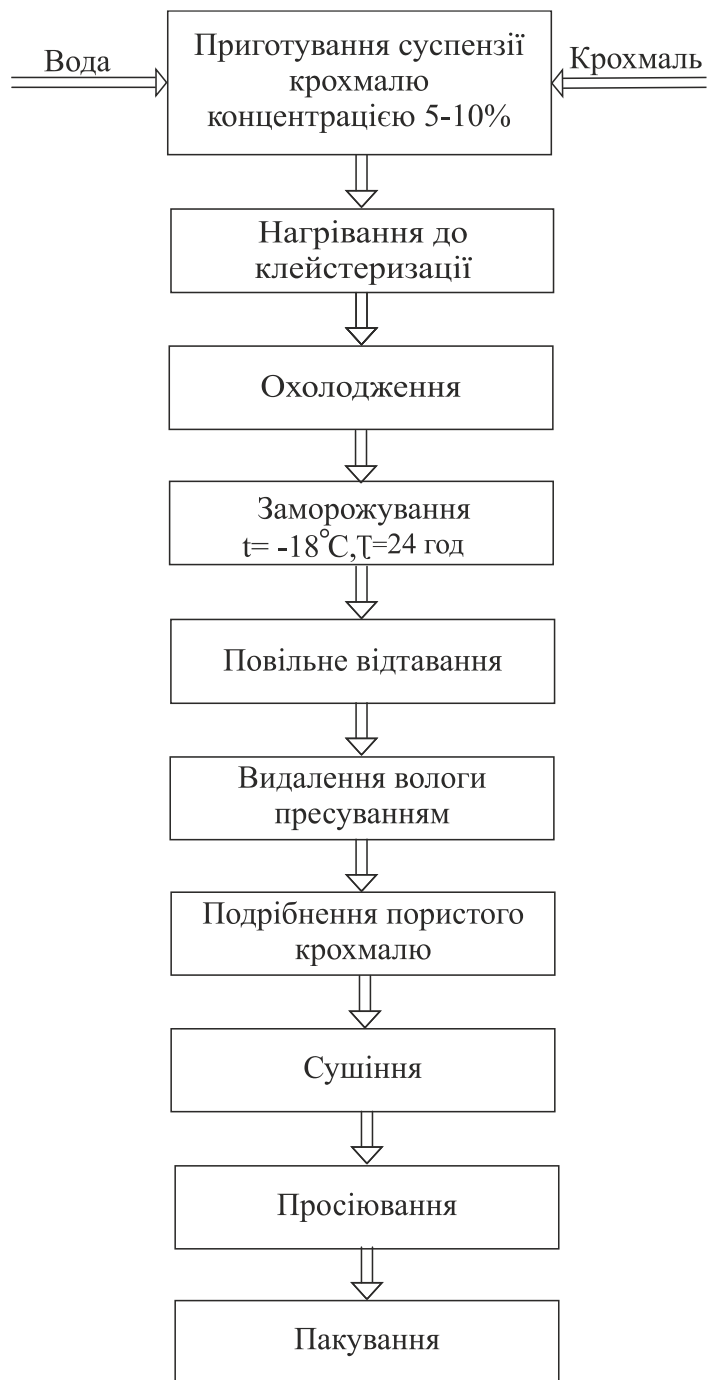
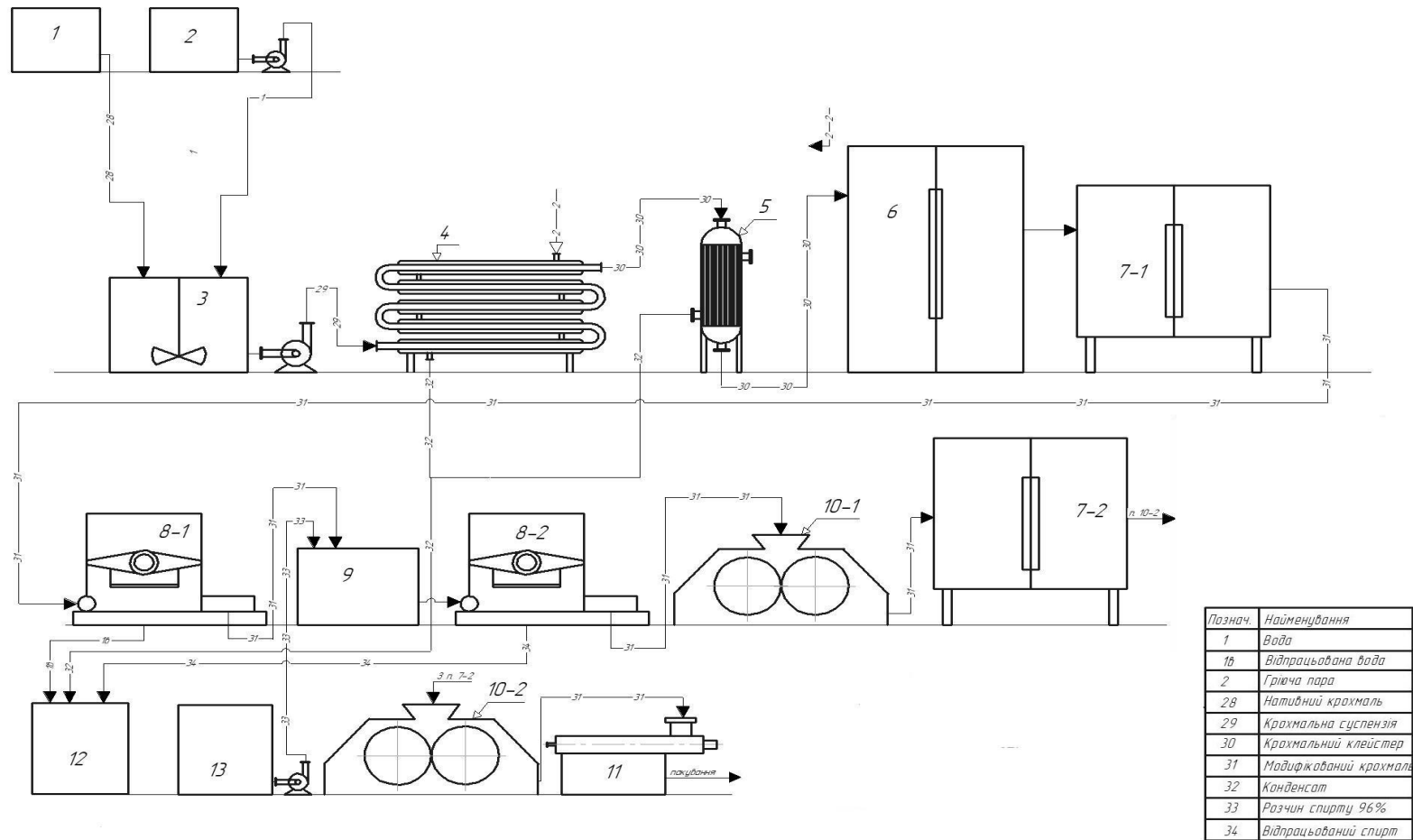


Рис. 3.9. Принципова технологічна схема отримання модифікованого крохмалю



1-збірник нативного крохмалю, 2-збірник води, 3-збірник для приготування крохмальної суспензії, 4-хімічний реактор, 5- теплообмінник для охолодження, 6 – морозильна камера, 7-сушильна шафа, 8- прес, 9-збірник, 10- валкова дробарка; 11- бурат-просіювач; 12- збірник; 13- збірник р-ну 96 % спирту.

Рис. 3.10. Апаратурно-технологічна схема отримання модифікованого крохмалю

Сировиною для виробництва модифікованого крохмалю є нативний картопляний або кукурудзяний крохмаль. Апаратурно-технологічну схему отримання пористого модифікованого крохмалю представлено на рис. 3.10.

Для приготування суспензії порція картопляного крохмалю зі збірника (п.1) надходить у збірник з мішалкою для приготування крохмальної суспензії (п.3), де змішується з холодною питною водою, яка подається зі збірника-мірника (п.2) у потрібному співвідношенні, щоб концентрація крохмальної суспензії була 5-10 %.

Крохмальну суспензію подають у реактор з паровою «сорочкою» (п.4) і мішалкою. У реакторі передбачено барботер для подачі пари. За поступового підвищення температури до 70-80°C відбувається набрякання і клейстеризація крохмалю. Крохмальний клейстер для охолодження надходить у теплообмінник (п.5), де охолоджується холодною водою, яка подається у міжтрубний простір протитечійно, до температури 30°C. Охолоджений крохмальний клейстер розливають по формам і ставлять на заморожування у морозильну камеру за температури -18°C на 24 години. Заморожений крохмальний клейстер піддають відтаванню у сушильний шафі (п.7-1) за температури 40°C. Розморожений крохмальний клейстер являє собою міцну еластичну губчасту структуру, пори якої заповнені водою. Блоки відталого пористого крохмального клейстеру направляють на прес (п.8) для зневоднення. Для кращого зневоднення і зміцнення структури перед подрібненням використовують етанол. Частково зневоднений крохмаль подрібнюють і направляють у сушильну шафу (п.7-2) до досягнення показника вологості модифікованого крохмалю не більше 14%. Сухий модифікований крохмаль направляють на подрібнення, просіювання, фасування.

3.4. Виробничі випробування технології і економічна ефективність виробництва модифікованого крохмалю

Було проведено розрахунок очікуваної економічної ефективності від впровадження у виробництво технології модифікованого крохмалю на підприємстві з виробництва картопляного крохмалю, яке працює сім місяців. За умови роботи підприємства протягом 7 місяців на рік (210 діб) перероблення

картоплі протягом року становить 42 тис т, 210 діб на рік. Розрахунок зроблено у цінах на лютий 2023 року. Економічні розрахунки представлено у додатку В.

Таблиця 3.6

Розрахунок відпускної ціни, грн. за 1 т модифікованого крохмалю

№	Показники	Модифікований пористий крохмаль
1	Виробнича собівартість	110641,87
2	Адміністративні витрати	5532,09
3	Витрати на збут	1106,42
4	Повні витрати	117280,38
5	Рентабельність, %	22,00
6	Прибуток	35184,114
7	Відпускна ціна підприємства (ціна без ПДВ)	152464,494
8	ПДВ (20%)	30492,9
9	Відпускна ціна	182957,4
10	Відпускна ціна за 1 кг., грн.	182,96
11	Торгівельна націнка, %	27,57
12	Роздрібна ціна модифікованого крохмалю:	
	1 кг	210,53
	1т	210530

За умов потужності крохмалепереробного підприємства 200 т переробки сировини на добу можливо організувати цех з виробництва модифікованого крохмалю у кількості 1 т на добу (вологістю 14%), що за умови тривалості виробничого сезону 270 діб буде становити 270 т модифікованого крохмалю. Термін окупності даного підприємства буде становити 0,8 року.

Дослідно-промислові випробування розробленої технології було проведено на підприємстві ПБП «Вимал» (акт випробувань див. у додатку Б). В ході випробувань технологічний процес виробництва модифікованого пористого крохмалю було проведено в наступній послідовності операцій: приготування суспензії картопляного крохмалю концентрацією 10 %; клейстеризація крохмалю при поступовому нагріванні і перемішуванні суспензії до 80°C і витримуванні протягом 5 хв; охолодження до 30°C; заморожування крохмального клейстеру за температури -18°C протягом 24 годин; розморожування при температурі 40°C;

зневоднення пресуванням; висушування при температурі 40...50°C; подрібнення; фасування та пакування модифікованого пористого крохмалю.

Дослідно-промислові випробування технології пористого крохмалю проводили згідно розроблених технологічних умов «Крохмаль модифікований пористий» ТУ У 15.8-02070938-315:2003 і технологічної інструкції (див. дод. А).

На етапі охолодження було відібрано половину крохмального клейстеру і додано порошок кверцетину з розрахунку 5 г на 1 кг клейстеру. Варто відмітити, що кверцетин, який не розчинний у воді, добре розчинився у крохмальному клейстері. Процеси заморожування і відтавання клейстеру, зневоднення і висушування проводили аналогічно, як і для крохмалю без кверцетину.

Отримано 5 кг сухого модифікованого пористого крохмалю і 5 кг пористого крохмалю збагаченого кверцетином. Фізико-хімічні показники пористого крохмалю наведено у таблиці.

Таблиця 3.7

Фізико-хімічні показники модифікованого крохмалю

Назва показника	Значення
Масова частка вологи, %	13
Масова частка золи, %	0,11
Кислотність, см ³ 0,1 н р-ну NaOH	14

Існуючі на підприємстві лінії технічно забезпечують основні технологічні процеси запропонованого способу, проте потребують встановлення морозильного обладнання.

В результаті випробувань способу отримання модифікованого крохмалю встановлено, що запропонований спосіб є ефективним для отримання нового виду фізично модифікованого пористого крохмалю шляхом заморожування-відтавання крохмальних клейстерів низьких концентрацій, що дозволяє розширити асортимент виробленої продукції підприємства.

Висновки за розділом 3

1. На основі аналізу літературних джерел розроблено технологію модифікованого крохмалю фізичної модифікації, в основі якої заморожування – відтавання крохмальних клейстерів низьких концентрацій – 5, 10 %.

2. Дослідження внутрішньої структури модифікованих крохмалів за допомогою скануючої електронної мікроскопії показало, що на відміну від нативних крохмалів модифіковані не мають зернистої структури і являють собою частинки висушеного ретроградованого крохмального клейстеру, набагато більші за розмірами порівняно з крохмальними зернами, оскільки у ході заморожування-відтавання кристали льоду «розривають» зв'язки між молекулами крохмалю і формують нові, внаслідок чого структура і властивості крохмалю змінюються.

3. Встановлено, що зі збільшенням концентрації крохмального клейстеру, який піддавали заморожуванню, зростає ступінь кристалічності пористого крохмалю, причому для картопляного крохмалю ця залежність виражена більше. Таким чином, в результаті дослідження фазової структури різних видів крохмалю встановлено, що ступінь кристалічності пористого крохмалю залежить від концентрації клейстеру, підданого заморожуванню-відтаванню.

4. Реологічними дослідженнями встановлено, що найбільш міцну надмолекулярну структуру утворюють картопляний і кукурудзяний зразки модифікованого крохмалю, отриманого заморожуванням клейстеру концентрацією 5 %.

5. На основі експериментальних досліджень доведено, що модифіковані крохмалі, отримані з клейстерів картопляного крохмалю, володіють властивістю краще зв'язувати воду ніж кукурудзяні пористі крохмалі. Найвищу водозв'язувальну здатність картопляний модифікований крохмаль демонструє при температурі 90°C, а для кукурудзяного модифікованого крохмалю значення найбільшої водозв'язувальної здатності залежить від концентрації вихідного клейстеру і температури: 5 % – 80 °C, 10 % і 15 % – 70 °C, 20 % – 60 °C.

6. На основі досліджень сорбційних характеристик модифікованого крохмалю встановлено, що зі збільшенням концентрацій клейстерів з 5 до 10 % як

для картопляного, так і для кукурудзяного крохмалів середній діаметр пор зменшується. Взагалі, у пористих крохмалів, отриманих внаслідок фізичної модифікації шляхом заморожування-відтавання крохмальних клейстерів утворюється однорідна структура з порами середнього розміру. Це може свідчити про більшу поглинальну і адсорбційну здатність модифікованого крохмалю.

7. Віскографічні дослідження показали, що при зменшенні концентрації картопляного крохмального клейстеру з 10 % до 5 %, в'язкість суспензії модифікованого крохмалю при нагріванні значно зменшується. Вочевидь, що більше зв'язаної води (незамерзаючої) містить крохмальний клейстер перед заморожуванням, тим менше проходить деструкція полісахаридів крохмалю в циклах заморожування-відтавання.

8. Встановлено, що гідрофільність модифікованих крохмалів значно перевищує гідрофільність нативних видів крохмалю. Картопляний крохмаль має більше значення гідрофільності, ніж кукурудзяний.

9. Встановлено, що для кукурудзяного модифікованого крохмалю зі збільшенням концентрації крохмального клейстеру його насипна густина зменшується. Найменші значення насипної густини спостерігаємо для кукурудзяного і картопляного крохмалів, отриманих з 20 %-х вихідних клейстерів, що підтверджує зменшення пор у модифікованому крохмалі при збільшенні концентрації вихідного клейстеру.

10. Було розроблено принципову і апаратурно-технологічну схеми виробництва пористого крохмалю. Розроблена технологія виробництва модифікованого крохмалю була апробована на підприємстві ПБП «Вимал». Дослідно-промислові випробування розробленої технології підтвердили, що за невисоких капітальних витрат можна налагодити виробництво нового виду модифікованого крохмалю.

Наукові результати даного розділу дисертації виствітлені в роботах [4, 6-8, 14, 25].

РОЗДІЛ 4

ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МОДИФІКОВАНОГО ПОРИСТОГО КРОХМАЛЮ

4.1. Дослідження сорбційних властивостей модифікованого крохмалю щодо інкапсулювання БАР

4.1.1. Дослідження інкапсулювання аскорбінової кислоти пористим крохмалем

З літературних джерел відомо, що аскорбінова кислота легко руйнується при дії світла, температури, зміні кислотності середовища та інших чинників. Функціональні продукти можуть бути розроблені з включенням інкапсульованих біологічно активних речовин з метою їх захисту від умов навколишнього середовища, підвищення стабільності і збереження нативних властивостей [154].

Було сплановано серію досліджень щодо визначення умов інкапсулювання аскорбінової кислоти у матрицю пористого крохмалю. Варіювали концентрації клейстерів вихідних кукурудзяного і картопляного крохмалів у межах від 5 до 20% з інтервалом 5 %. Готували по 20 мл суспензії кожної концентрації, клейстеризацію суспензій проводили у полі НВЧ з подальшим охолодженням до кімнатної температури. Для інкапсулювання в матрицю пористого крохмалю готували п'ять розчинів аскорбінової кислоти концентрацією від 2 до 10 % з кроком у 2%. До охолодженого крохмального клейстеру додавали по 10 мл приготованого розчину аскорбінової кислоти різної концентрації. Клейстер ретельно перемішували, щоб аскорбінова кислота рівномірно в ньому розподілилася, і заморожували при температурі -18 °С протягом 24 годин у морозильній камері. Після розморожування при кімнатній температурі отриману масу механічно зневоднювали, витискуючи максимально воду. Об'єм фільтрату вимірювали і титрували 0,1 н розчином йоду в присутності індикатора, яким є 1 %-й крохмальний клейстер, до появи синього забарвлення, яке не зникало протягом 30 с. Збагачений аскорбіновою кислотою крохмаль сушили у сушильній шафі і подрібнювали [155].

Методику визначення вмісту аскорбінової кислоти наведено у п. 2.3.2. Кількість адсорбованої аскорбінової кислоти в мг/мл розраховували за формулою 2.5.

Знаючи скільки аскорбінової кислоти в мг було додано до крохмального клейстеру і скільки аскорбінової кислоти перейшло у воду після розморожування, ми розраховали кількість інкапсульованої модифікованим крохмалем аскорбінової кислоти у відсотках. Результати досліджень модифікованих крохмалів щодо включення аскорбінової кислоти в матрицю пористого крохмалю представлено в табл. 4.1 і 4.2.

Таблиця 4.1

Результати дослідження щодо кількості інкапсульованої аскорбінової кислоти кукурудзяним пористим крохмалем

Концентрація крох. клейстеру підданого заморожуванню, %	Концентрація аскорбінової кислоти, доданої до клейстеру, %	Кількість води, видаленої після відтавання, V_2 , мл	Кількість йоду, що пішла на титрування, V_1 , мл	Кількість аскорбінової кислоти у воді після відтавання, X , мг/мл	Кількість аскорбінової кислоти у воді після відтавання, %
5	2	18	16,5	0,008	42,7
	4	21	29,7	0,015	38,5
	6	19	40,9	0,021	35
	8	19	53	0,027	27,4
	10	15,5	64,1	0,038	38
10	2	19	16,9	0,0083	20,7
	4	14,5	19,5	0,025	31,3
	6	13	27,1	0,0194	32,8
	8	11	31,1	0,0263	32,9
	10	9,5	32,2	0,0316	31,6
15	2	13	11,2	0,0077	38,4
	4	13,5	17,3	0,0114	28,5
	6	14,5	29,3	0,018	29,8
	8	12	33,9	0,025	31,5
	10	10	39,8	0,035	35,5
20	2	18,5	12,5	0,0065	32,5
	4	15,5	19,3	0,011	27,5
	6	14	23,5	0,015	25
	8	14,5	29,7	0,018	22,5
	10	10	25,5	0,027	22,7

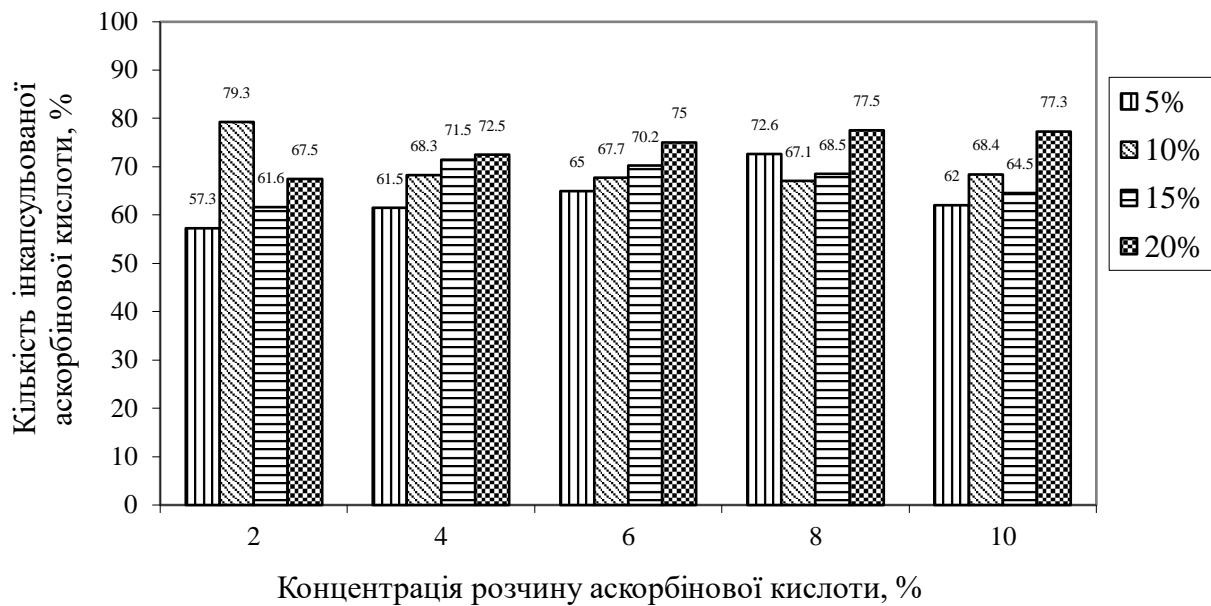


Рис. 4.1. Кількість інкапсульованої аскорбінової кислоти кукурудзяним пористим крохмалем (клейстери різних концентрацій: 5, 10, 15, 20 %)

За результатами, представленими на діаграмі (рис. 4.1) бачимо, що аскорбінова кислота за обраних концентрацій на 60...77 % сорбується крохмалем при заморожуванні клейстеру. На її включення в структуру певною мірою впливають концентрації клейстеру і аскорбінової кислоти. Проте, слід зазначити, що чіткої залежності не спостерігається. При збільшенні концентрації клейстеру на кожні 5 %, величина зв'язування аскорбінової кислоти пористим крохмалем зростає приблизно на 3-5%, а при збільшенні концентрації розчину аскорбінової кислоти ступінь її зв'язування пористим крохмалем майже не змінюється. Така залежність щодо збільшення ступеня зв'язування аскорбінової кислоти спостерігається для усіх дослідних концентрацій [155]. В межах обраних концентрацій вважаємо за доцільне використовувати крохмальні суспензії концентрацією 5-10 % і розчини аскорбінової кислоти 8-10 %-х концентрацій.

Аналогічні дослідження було проведено з використанням картопляного модифікованого крохмалю з внесенням розчину аскорбінової кислоти на етапі охолодження клейстеру.

Таблиця 4.2

**Результати дослідження щодо кількості інкапсульованої аскорбінової
кислоти картопляним пористим крохмалем**

Концент- рація крох. клейстеру підданого заморожу- ванню, %	Концен- трація аскорбіно- вої кислоти, доданої до клейстеру, %	Кількість води, видаленої після відтавання, V_2 , мл	Кількість йоду, що пішла на титрування, V_1 , мл	Кількість аскорбіново ї кислоти у воді після відтавання, X , мг/мл	Кількість аскорбіно- вої кислоти у воді після відтавання, %
5	2	13	11	0,007	35
	4	13,5	21,5	0,014	34,5
	6	15	37,8	0,020	33,1
	8	14	48,2	0,026	32,8
	10	15	56,2	0,029	29,3
10	2	17	13,7	0,007	35
	4	13	21,7	0,014	35
	6	10	28,3	0,024	40
	8	14	41,5	0,025	31
	10	13,5	32,2	0,027	27
15	2	15,5	16	0,009	44,7
	4	13	20,7	0,014	34,5
	6	12,5	34,5	0,024	39,9
	8	14	47,5	0,029	36,8
	10	11	44,6	0,035	35
20	2	12	11	0,008	44,8
	4	11,5	23,8	0,018	40
	6	11,5	22,5	0,030	50,5
	8	8,8	38,4	0,038	47,3
	10	10	48,5	0,048	48

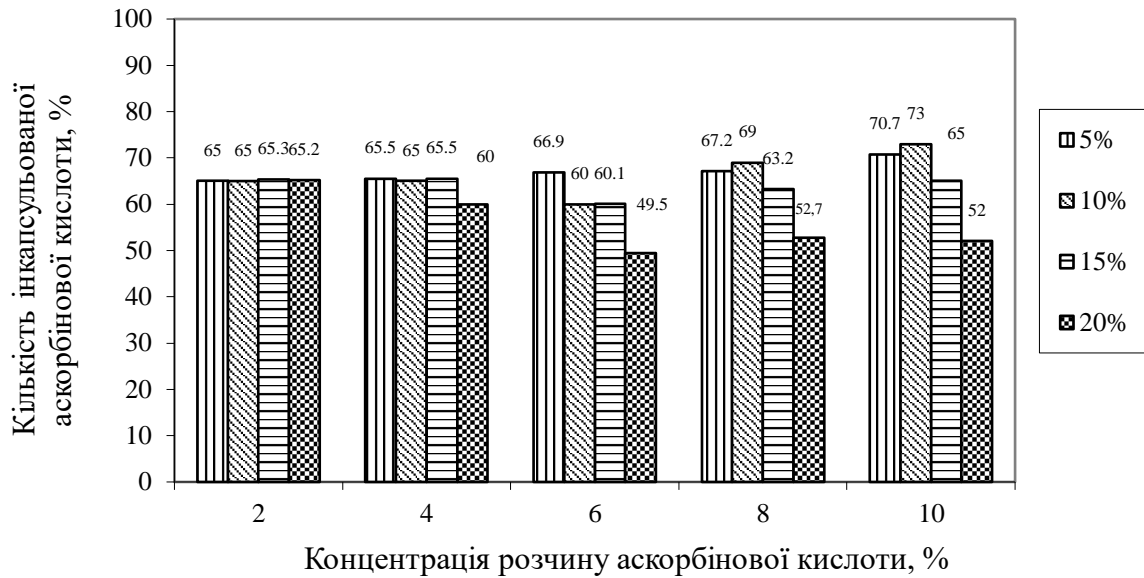


Рис.4.2. Кількість інкапсульованої аскорбінової кислоти сорбованої картопляним пористим крохмалем (клейстери різних концентрацій: 5, 10, 15, 20 %)

З рисунка 4.2 видно, що при заморожуванні клейстерів картопляного крохмалю ступінь зв'язування аскорбінової кислоти подібна до ступеня зв'язування кукурудзяним крохмальним клейстером. Проте спостерігається закономірність: клейстери низьких концентрацій (5 і 10 %) сорбують більше аскорбінової кислоти з розчинів 4-10%-х концентрацій ніж концентровані клейстери (15 і 20 %), лише для розчину аскорбінової кислоти 2 % ступінь зв'язування однакова для усіх концентрацій клейстерів.

Загалом кукурудзяний крохмаль дещо краще зв'язує аскорбінову кислоту з розчинів ніж картопляний. З діаграми (рис. 4.1) видно, що найкраще зв'язування аскорбінової кислоти відбувалося 20 %-м кукурудзяним крохмальним клейстером з розчинів кислоти концентрацією 6-10 %. Для картопляного крохмалю найбільший ступінь зв'язування аскорбінової кислоти показали також 5 і 10 %-й клейстери за усіх концентрацій кислоти, але при додаванні 10 %-го розчину аскорбінової кислоти при збільшенні концентрації клейстеру ступінь зв'язування аскорбінової кислоти зменшується [155].

4.1.2. Визначення ступеню вивільнення інкапсульованої на модифікованому крохмалі аскорбінової кислоти

Для визначення ступеню вивільнення інкапсульованої у пористому крохмалі аскорбінової кислоти було проведено експериментальні дослідження. Зважували 0,2 г модифікованого крохмалю збагаченого аскорбіновою кислотою, додавали 10 мл дистильованої води, добре перемішували і витримували протягом 10, 20, 40, 60 хв. Після цього рідку фазу відокремлювали фільтруванням і вимірювали об'єм фільтрату. Додавали до фільтрату декілька крапель 1 % крохмального клейстеру і титрували 0,1 н розчином йоду до появи синього забарвлення.

Кількість аскорбінової кислоти в мг/мл розраховали за формулою 2.5 і перераховували у відсотки до введеної в крохмаль кількості аскорбінової кислоти.

Таблиця 4.3

Результати досліджень ступеню вивільнення інкапсульованої на модифікованому кукурудзяному крохмалі аскорбінової кислоти

Концентрація крохмального клейстеру, що піддавався заморожуванню, %	Концентрація аскорбінової кислоти, що додавалася до крохмального клейстеру, %	Час витримування, хв			
		10	20	40	60
		Кількість аскорбінової кислоти, що перейшла у воду, мг/мл			
5	2	0,00011	0,00011	0,00011	0,00011
	4	0,00022	0,00022	0,00022	0,00022
	6	0,00034	0,00028	0,00034	0,00034
	8	0,0012	0,00033	0,00033	0,00033
	10	0,00026	0,0003	0,0003	0,00045
10	2	0,00011	0,00011	0,00011	0,00011
	4	0,00022	0,00034	0,00034	0,00034
	6	0,00034	0,00039	0,0006	0,001
	8	0,0011	0,00063	0,00069	0,00066
	10	0,00042	0,00056	0,00056	0,0006

Продовження табл. 4.3

15	2	0,00011	0,00021	0,00021	0,00024
	4	0,00063	0,00078	0,00078	0,00078
	6	0,0009	0,0019	0,0016	0,0012
	8	0,0014	0,0018	0,0017	0,0015
	10	0,0017	0,0025	0,0026	0,002
20	2	0,00021	0,00021	0,00045	0,00036
	4	0,00067	0,00078	0,00078	0,0009
	6	0,001	0,0013	0,0013	0,0013
	8	0,001	0,001	0,001	0,0012
	10	0,0022	0,0013	0,0016	0,0016

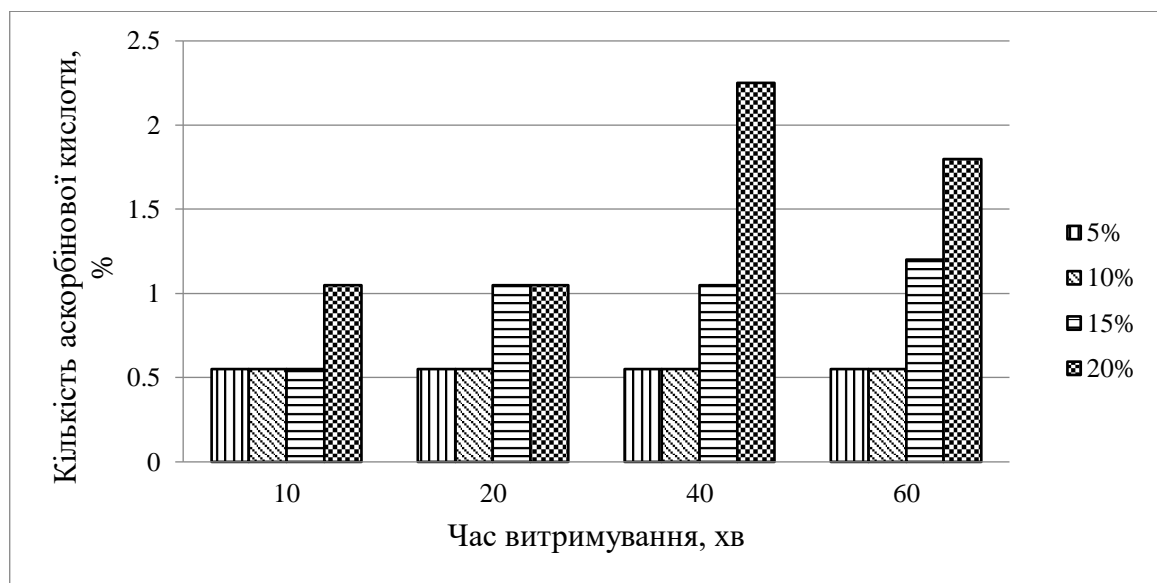


Рис. 4.3. Ступінь вивільнення інкапсульованої аскорбінової кислоти з модифікованого кукурудзяного крохмалю отриманого з клейстерів різної концентрацій (5, 10, 15, 20 %) (для інкапсульовання брали 2 % розчин аскорбінової кислоти), %

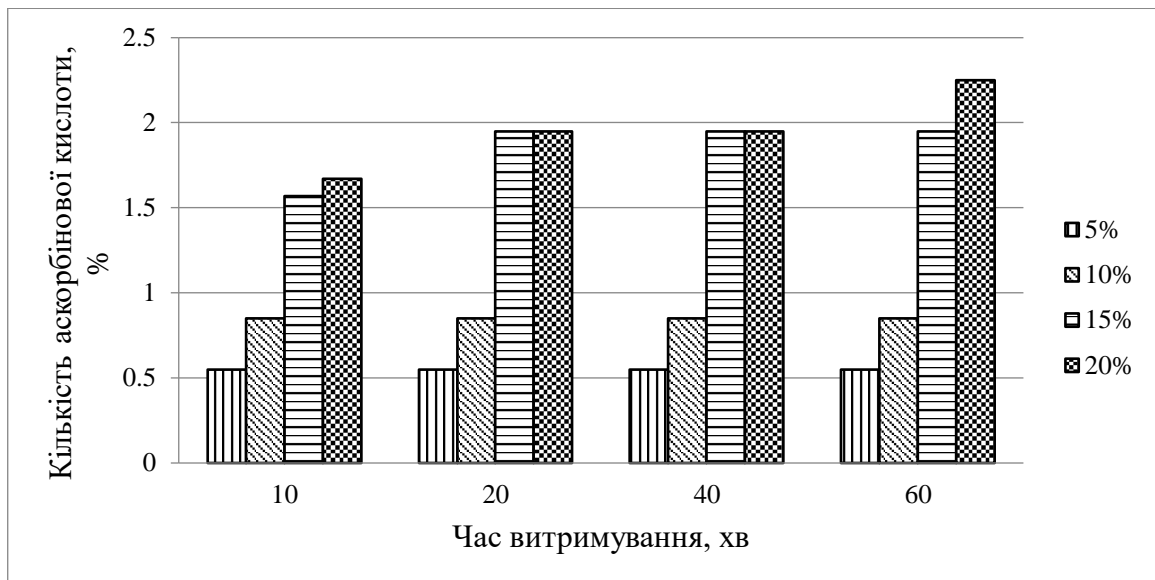


Рис. 4.4. Ступінь вивільнення інкапсульованої аскорбінової кислоти з модифікованого кукурудзяного крохмалю отриманого з клейстерів різної концентрацій (5, 10, 15, 20 %) (для інкапсульовання брали 4 % розчин аскорбінової кислоти), %

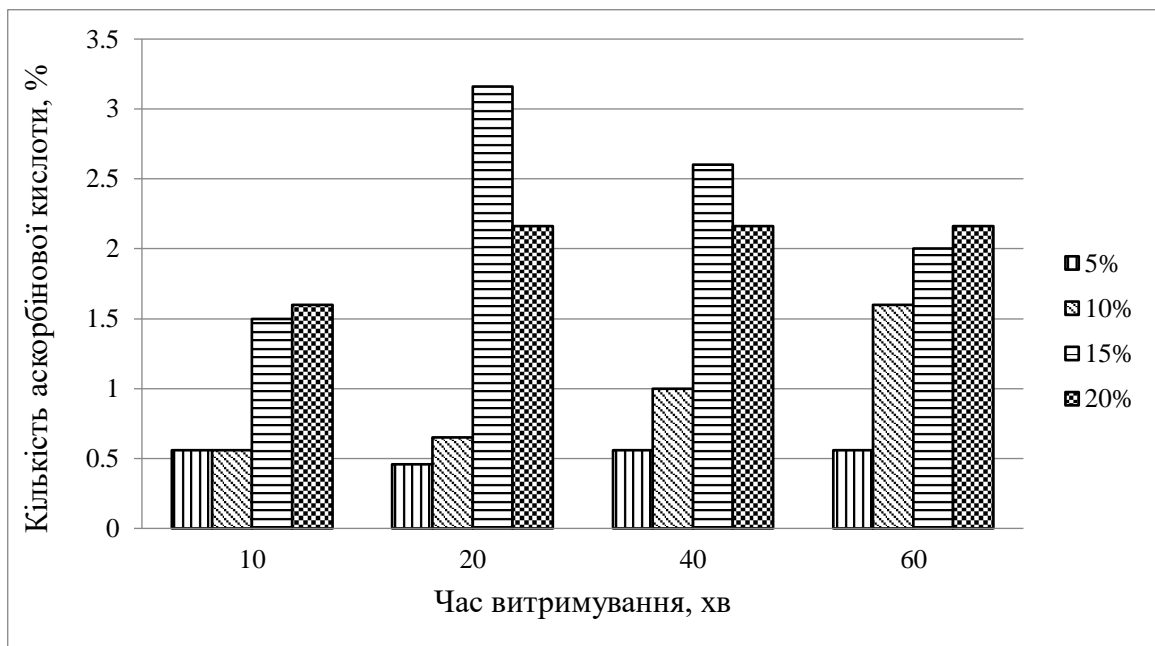


Рис. 4.5. Ступінь вивільнення інкапсульованої аскорбінової кислоти з модифікованого кукурудзяного крохмалю отриманого з клейстерів різної концентрацій (5, 10, 15, 20 %) (для інкапсульовання брали 6 % розчин аскорбінової кислоти), %

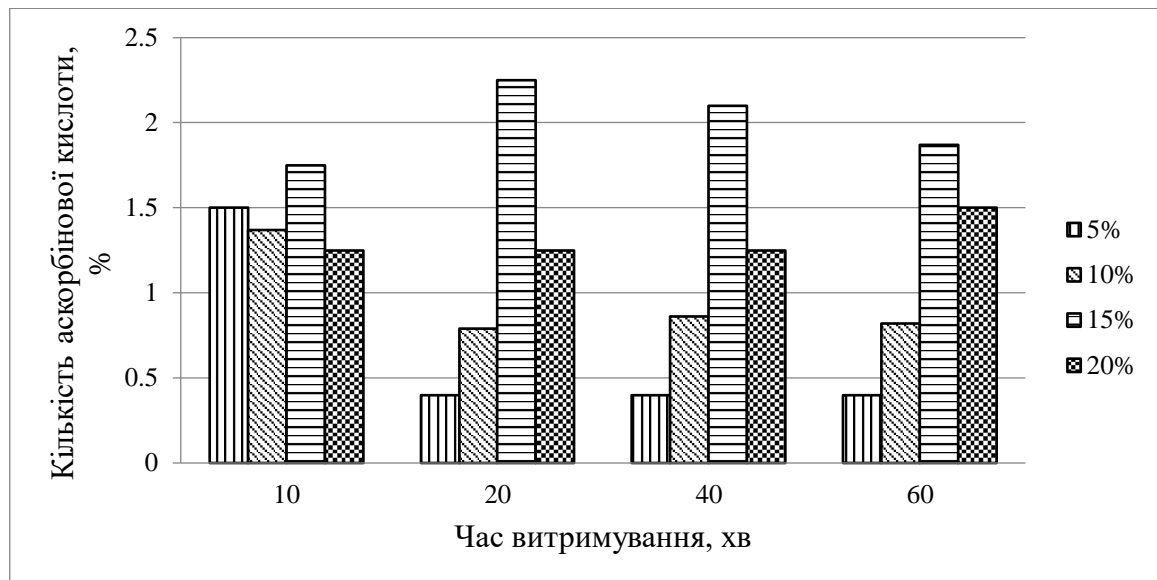


Рис. 4.6. Ступінь вивільнення інкапсульованої аскорбінової кислоти з модифікованого кукурудзяного крохмалю отриманого з клейстерів різної концентрацій (5, 10, 15, 20 %) (для інкапсульовання брали 8 % розчин аскорбінової кислоти), %

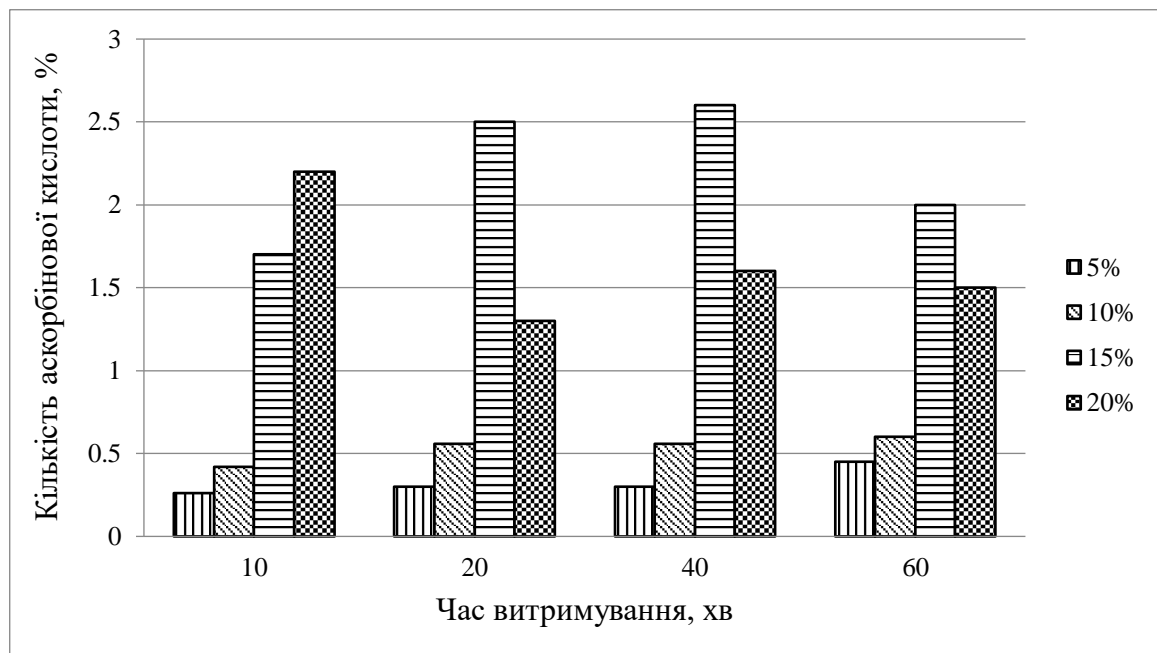


Рис. 4.7. Ступінь вивільнення інкапсульованої аскорбінової кислоти з модифікованого кукурудзяного крохмалю отриманого з клейстерів різної концентрацій (5, 10, 15, 20 %) (для інкапсульовання брали 10 % розчин аскорбінової кислоти), %

Таблиця 4.4

**Результати досліджень ступеню вивільнення інкапсульованої на
модифікованому картопляному крохмалі аскорбінової кислоти**

Концентрація крохмального клейстеру, що піддавався заморожуванню, %	Концентрація аскорбінової кислоти, що додавалася до крохмального клейстеру, %	Час витримування, хв			
		10	20	40	60
		Кількість аскорбінової кислоти, що перейшла у воду, мг/мл			
5	2	0,00014	0,00018	0,00018	0,00023
	4	0,0004	0,0005	0,00064	0,0004
	6	0,00065	0,00072	0,00073	0,00065
	8	0,00089	0,00095	0,00091	0,0011
	10	0,0013	0,0015	0,00156	0,00156
10	2	0,00048	0,00046	0,00046	0,00046
	4	0,00034	0,00040	0,00043	0,00045
	6	0,00086	0,00091	0,00095	0,00091
	8	0,00091	0,00081	0,00099	0,001
	10	0,00096	0,001	0,0011	0,0012
15	2	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	4	0,00026	0,00031	0,00034	0,00034
	6	0,00065	0,00056	0,00068	0,00084
	8	0,00067	0,00043	0,00046	0,00046
	10	0,00059	0,00059	0,00086	0,00091
20	2	0,00024	0,00018	0,00018	0,00018
	4	0,00029	0,00029	0,00036	0,00038
	6	0,00048	0,00057	0,00062	0,00052
	8	0,00067	0,00062	0,00076	0,00073
	10	0,00094	0,001	0,001	0,001



Рис. 4.8. Ступінь вивільнення інкапсульованої аскорбінової кислоти з модифікованого картопляного крохмалю отриманого з клейстерів різної концентрацій (5, 10, 15, 20 %) (для інкапсульовання брали 2 % розчин аскорбінової кислоти), %

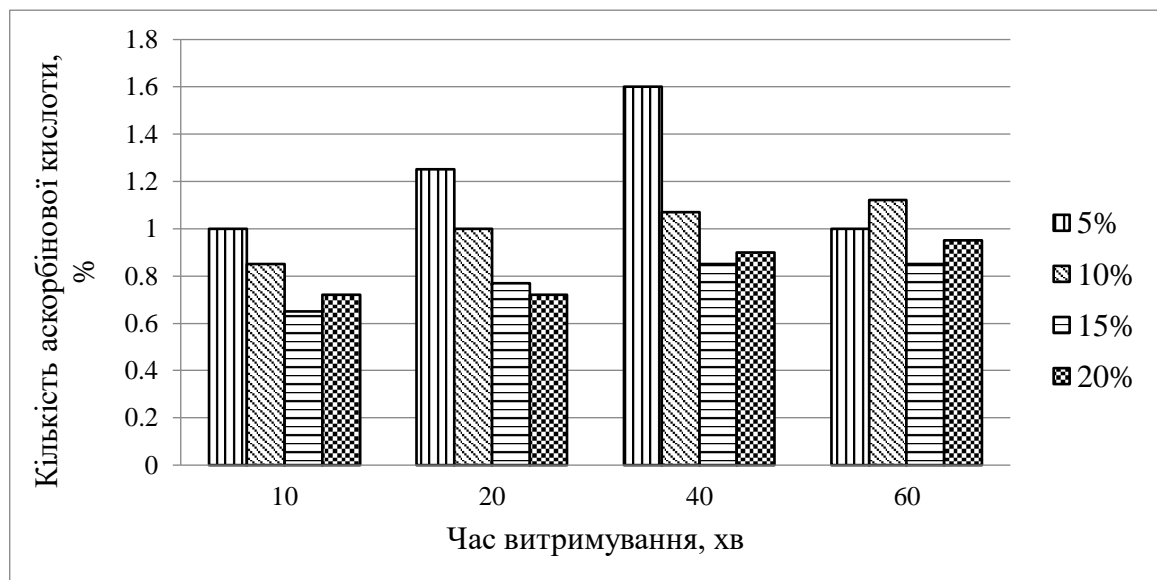


Рис. 4.9. Ступінь вивільнення інкапсульованої аскорбінової кислоти з модифікованого картопляного крохмалю отриманого з клейстерів різної концентрацій (5, 10, 15, 20 %) (для інкапсульовання брали 4 % розчин аскорбінової кислоти), %

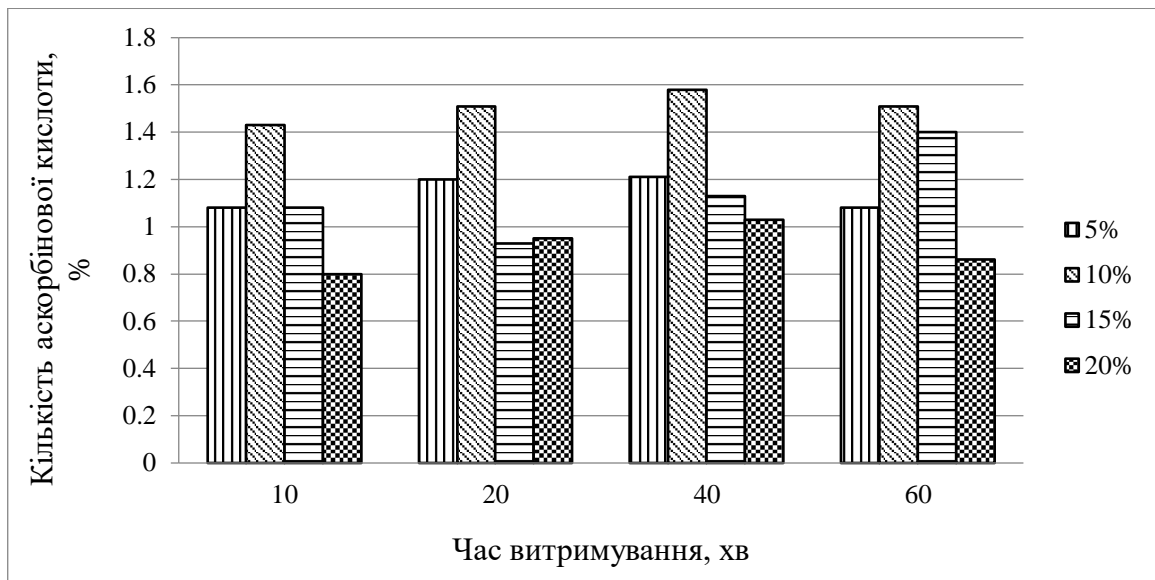


Рис. 4.10. Ступінь вивільнення інкапсульованої аскорбінової кислоти з модифікованого картопляного крохмалю отриманого з клейстерів різної концентрацій (5, 10, 15, 20 %) (для інкапсульювання брали 6 % розчин аскорбінової кислоти), %

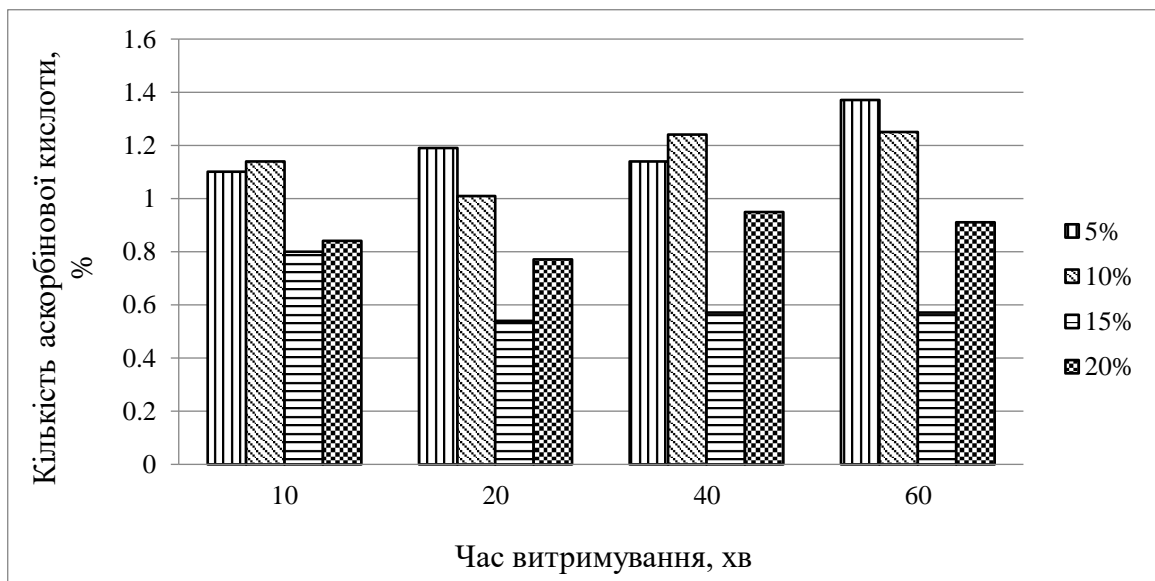


Рис. 4.11. Ступінь вивільнення інкапсульованої аскорбінової кислоти з модифікованого картопляного крохмалю отриманого з клейстерів різної концентрацій (5, 10, 15, 20 %) (для інкапсульювання брали 8 % розчин аскорбінової кислоти), %

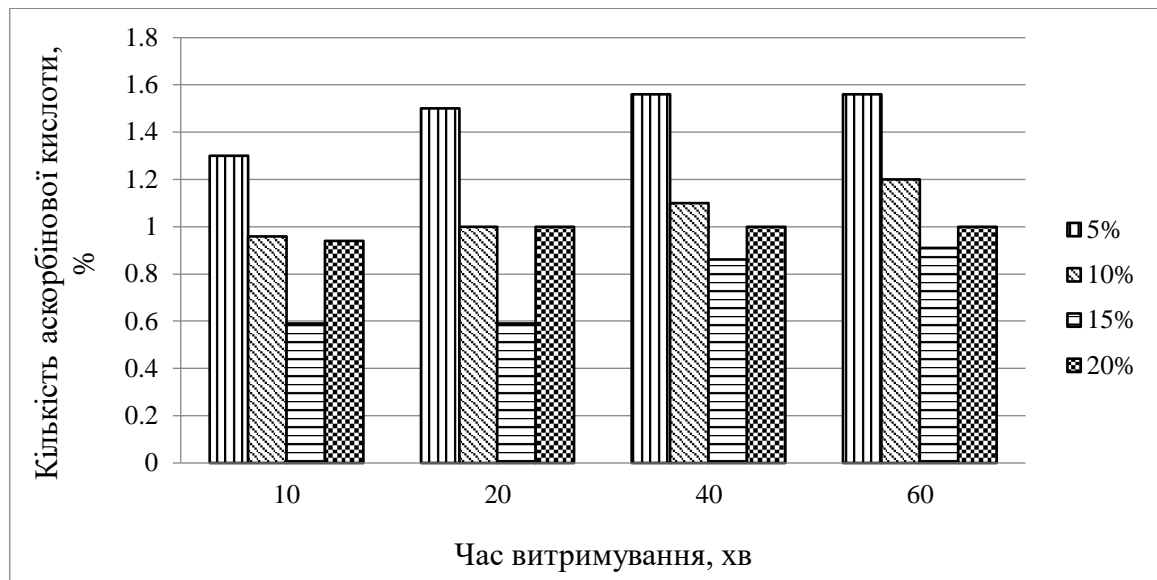


Рис. 4.12. Ступінь вивільнення інкапсульованої аскорбінової кислоти з модифікованого картопляного крохмалю отриманого з клейстерів різної концентрацій (5, 10, 15, 20 %) (для інкапсульовання брали 10 % розчин аскорбінової кислоти), %

З отриманих результатів бачимо, що кукурудзяний модифікований крохмаль гірше утримує аскорбінову кислоту ніж картопляний. Для двох видів модифікованих крохмалів спостерігаємо, що при низьких концентраціях розчину аскорбінової кислоти кількість цієї кислоти, що переходить у воду, майже не змінна. Кукурудзяний модифікований крохмаль отриманий з клейстерів 15 і 20 % найгірше утримує аскорбінову кислоту. Для картопляного модифікованого крохмалю спостерігаємо іншу залежність найвищі значення ступеню вивільнення має модифікований крохмаль отриманий з клейстерів 5 і 10 %.

4.1.3. Дослідження інкапсульовання кверцетину пористим крохмалем

На даному етапі дослідження було поставлено задачу довести можливість використання пористого крохмалю як інкапсульюючого агенту для біологічно активних низькомолекулярних речовин. Зручною формою для введення в харчові продукти є водорозчинні вітамінні препарати. Тому, нами було прийняте рішення дослідити можливість інкапсульовання у структуру пористого модифікованого

крохмалю речовини флавоноїдної природи, а саме кверцетину, з метою підвищення біодоступності цього флавоноїду, пролонгування біологічної активності та створення системи доставки спрямованої дії.

За мету було поставлено дослідити спосіб отримання інкапсульованого крохмальним носієм Р-вітамінного комплексу кверцетину для введення в харчові продукти оздоровчого призначення.

Нами було приготовлено пористі крохмалі шляхом заморожування суспензії кукурудзяного крохмалю концентрацією 10 та 5 %. Усі зразки були виготовлені за методикою, представленою в п.2.3.1:

Для отримання модифікованого крохмалю з нативного готували суспензію крохмалю заданої концентрації, клейстеризували і охолоджували. В охолоджений клейстер вносили задану кількість порошку кверцетину і добре перемішували до повного розчинення, потім ставили на заморожування на 24 години, далі масу повільно розморозували, зневоднювали отриманий пористий крохмаль з кверцетином, подрібнювали і висушували. Висушений збагачений кверцетином модифікований крохмаль подрібнювали, просіювали та фасували.

З метою перевірки сорбційних властивостей пористого крохмалю було сплановано і проведено серію експериментів щодо інкапсульювання на його поверхні флавоноїдів типу кверцетину.

Частина зразків кверцетину для дослідження була отримана в лабораторних умовах з рутину.

Методика одержання кверцетину: До розчину, що складався з 1 г рутину і 5 мл етилового спирту додавали 50 мл 1 % -го розчину соляної кислоти. Реакційну суміш витримували при 35-40 °С протягом 1 год, після чого залишали при кімнатній температурі. Після довготривалого витримування з гідролізату випадали кристали кверцетину, які відфільтровували та висушували. Таким способом було отримано 0,45 г сухого кверцетину.

Чистота отриманих зразків перевірена методом ЯМР за допомогою отриманих ПМР спектрів.

З отриманими зразками кверцетину було проведено дослідження щодо можливого інкапсулювання останніх в пори модифікованого заморожуванням-відтаванням крохмалю. Інкапсулювання кверцетину проводили шляхом введення його у порошкоподібному вигляді в охолоджений крохмальний клейстер перед заморожуванням. Приготування пористого крохмалю доцільно проводити так, щоб 5 – 10 %-і водні суспензії повільно замерзали при температурах від -5 до -18 °С. При приготуванні дисперсії необхідно уникати сильної механічної дії (струшування, помішування, гомогенізація і т.д.), щоб не зруйнувати набухлі крохмальні зерна. Отриману при відтаюванні заморожених зразків пористу масу зневоднювали та висушували. Далі усі процеси отримання пористого крохмалю збагаченого кверцетином проводили згідно методики описаної у п. 2.3.1 і 3.4. Слід зазначити, що кверцетин не розчинний у воді проте у крохмальному клейстері від добре диспергується. Для приготування кверцетинвмісних вітамінних комплексів використовували клейстери картопляного і кукурудзяного крохмалю не високих концентрацій – 5 і 10 %. Проведено дослідження фізико-хімічних властивостей отриманих зразків збагаченого крохмалю.

4.1.3.1. Дослідження фізико-хімічних властивостей зразків пористого крохмалю збагаченого кверцетином

Для вивчення взаємодії між кверцетином і пористим крохмалем було використано спектри uv - vis продукту на приладі для вимірювання відбитого світла від твердого зразка. Були виміряні спектри сорбції кверцетину на крохмалі, кверцетину і самого крохмалю. Слід відзначити, що даний метод є придатним для даних досліджень, оскільки для uv - vis спектрів крохмалю максимуми смуг поглинання не спостерігаються, тобто крохмаль на спектрах відсутній. В свою чергу всі максимуми поглинання стосуються виключно адсорбату, що цінним для подальшого аналізу, як якісного, так і кількісного. Зсув смуги максимуму поглинання флавоноїду кверцетину з 420 нм до 375 нм, який спостерігаємо на рис. 4.13, може свідчити про виникнення хімічних зв'язків між молекулами модифікованого крохмалю та цією сполукою за типом хемосорбції [156].

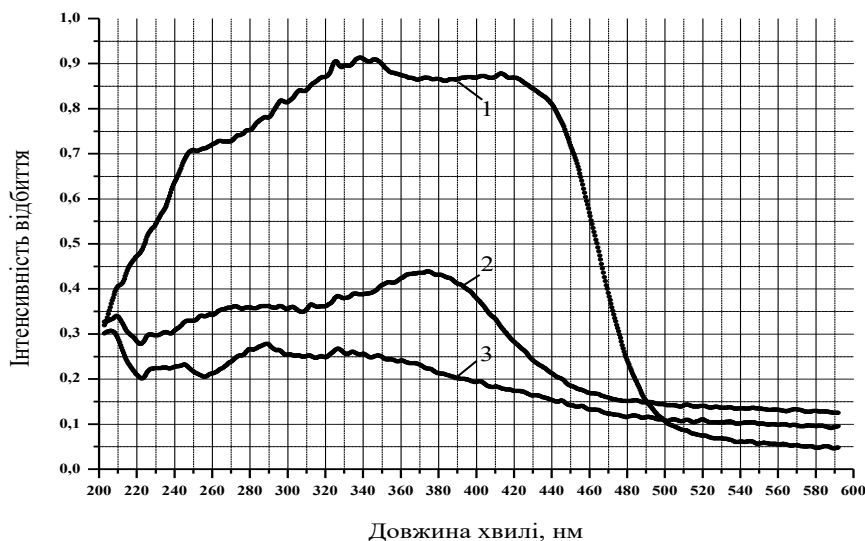


Рис. 4.13. Спектри *uv-vis* дифузного відбиття: 1 – флавонолу кверцетину; 2 – продукту сорбції пористого крохмалю з кверцетином; 3 – пористого кукурудзяного крохмалю

Всі отримані досліджували в Інституті технічної теплофізики НАН України на дериватографі – приладі, який реєструє термічні і термогравіметричні зміни за рахунок порівняння зразку з еталоном. В дериватографі, дія якого заснована на поєднанні ДТА з термогравіметриєю, тримач з досліджуваною речовиною поміщують на терморпару, вільно підвішену на коромислі вагів. Така конструкція дозволяє записувати одразу чотири залежності: різниці температур досліджуваного зразка і еталону, який не зазнає перетворень (інертний носій), від часу нагрівання (крива ДТА); зміни маси (m) від температури (термогравіметрична крива); швидкості зміни маси, тобто похідної dm/dt , від температури (диференціальна термогравіметрична крива) і температури від часу [157, 158].

Кількісно з них оцінюються лише дві криві – шкала температури та шкала залежності втрати маси від температури – термогравіметрична крива.

Нагрівання зразків у дериватографі показало, що в інтервалі температур від кімнатної до 200 – 218 °С спостерігається видалення води (рис. 4.14). Максимум піка ендотермічного ефекту, що відповідає максимальній швидкості зневоднення, приходить на вузький інтервал у 3,5°С (рис. 4.15). Причому у природного і

пористого крохмалів температура максимумів швидкості співпадає і становить 98 °С. У одержаного продукту цей максимум відповідає 101,5 °С (табл. 4.6).

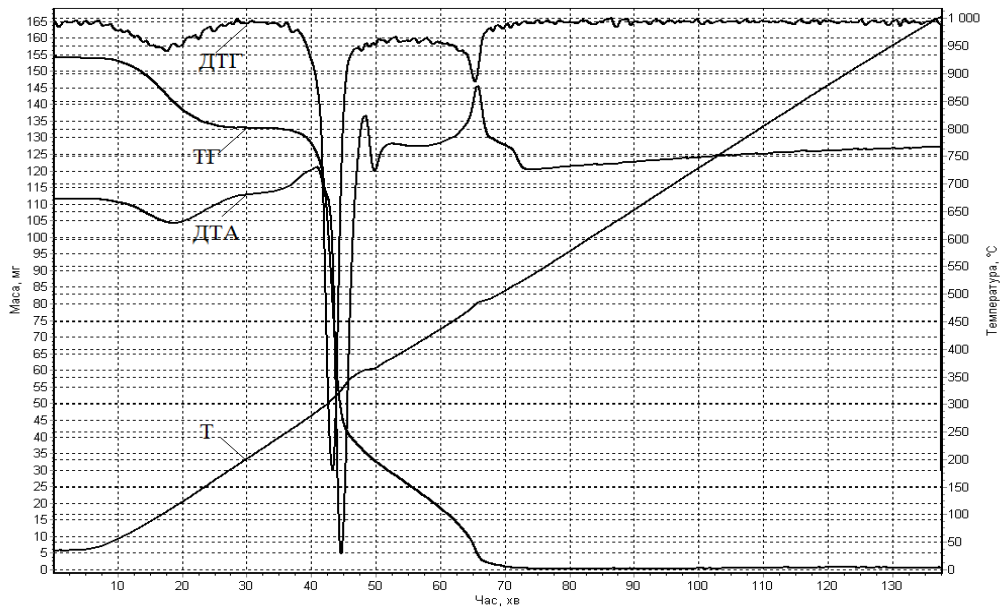


Рис. 4.14. Дериватограма природного кукурудзяного крохмалю: Т – крива зміни температури зразка; ТГ – крива термогравіметрії; ДТГ – крива диференціальної термогравіметрії; ДТА – крива диференціального термічного аналізу

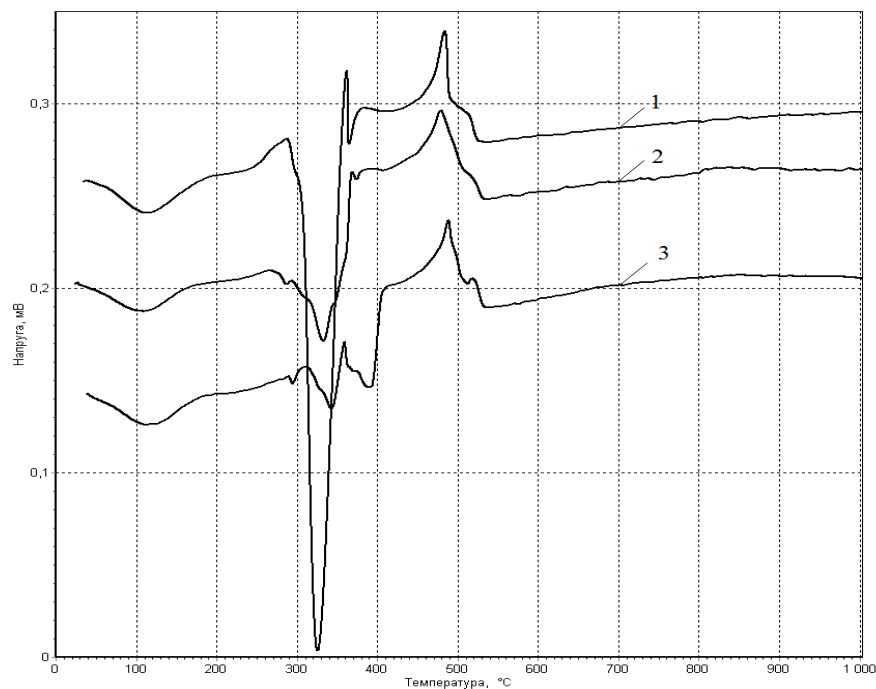


Рис. 4.15. Криві ДТА різних форм кукурудзяного крохмалю: 1 – природний; 2 – пористий; 3 – пористий з кверцетином

Таблиця 4.6

Результати аналізу термостійкості матеріалів

Назва Матеріалу	Температура, °С					Вологість, %
	Початок видалення води	Максимум швидкості видалення води	Початок термічного розкладу	Максимум швидкості термічного розкладу	Кінець термічного розкладу	
Кукурудзяний нативний	31	98	200	304	521	13,70
Кукурудзяний пористий	31	98	208	301	523	10,38
Кукурудзяний пористий з кверцетином	32	101,5	218	300	533	11,09

Після закінчення видалення води починає розвиватись процес термічної деструкції. Як видно з таблиці 4.6 початок деструкції у досліджених матеріалів різний. Крохмаль пористий з кверцетином має найвищу температуру початку деструкції. Криві ДТА термічного розкладання природного і пористого крохмалів значно відрізняється від кривих ДТА продукту їх взаємодії та зміщена в область більш високих температур (рис. 4.15). Цей факт може бути використаний на користь підтвердження факту отримання нового матеріалу – збагаченого кверцетином пористого крохмалю – з іншими фізико-хімічними властивостями.

Рентгенофазовий аналіз кукурудзяного нативного та модифікованого пористого крохмалю, а також кверцетину та модифікованого пористого крохмалю з кверцетином показав на зміни кристалічності, що відбуваються при модифікації. Так, нативний кукурудзяний крохмаль має аморфно-кристалічну структуру, про що свідчить рентгенограма, представлена на рисунку 4.16.

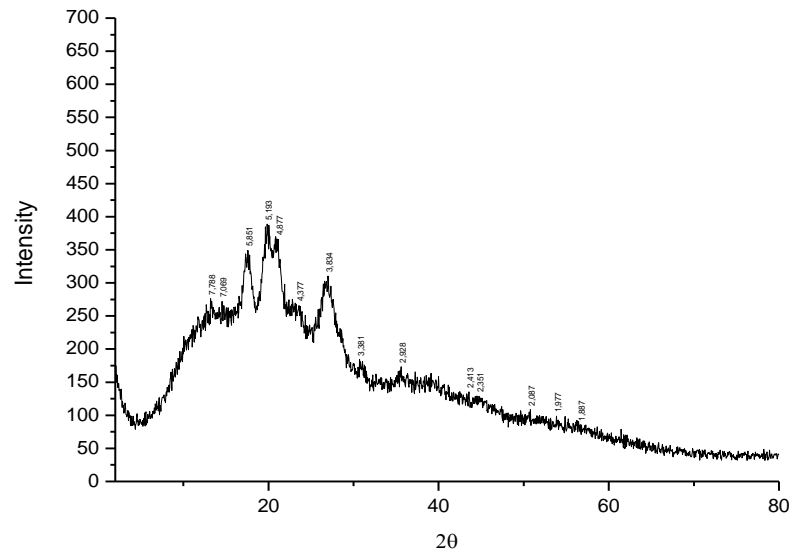


Рис. 4.16. Рентгенограма нативного кукурудзяного крохмалю [159]

Пористий крохмаль, одержаний з нативного кукурудзяного, має аморфну структуру з ледь помітними залишками кристалічності (рис. 4.16).

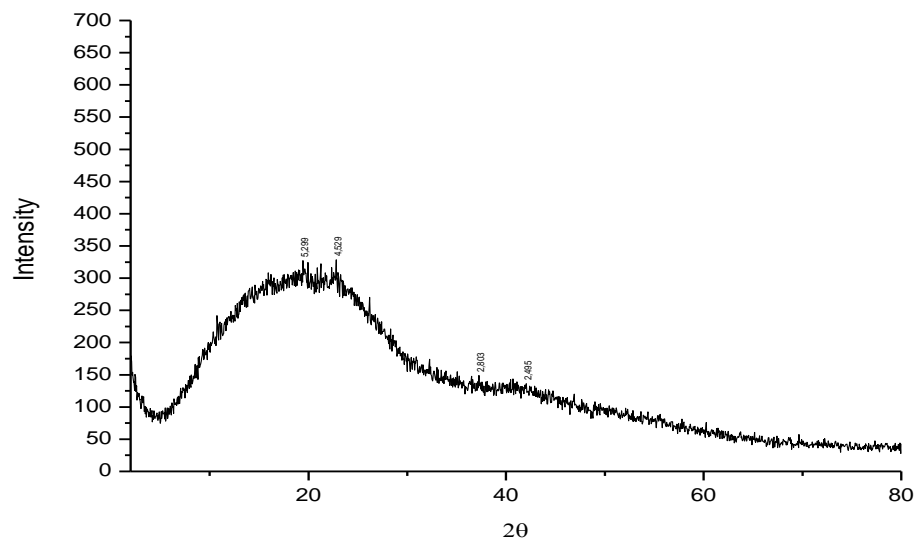


Рис. 4.17. Рентгенограма пористого кукурудзяного крохмалю [159]

Застосований в роботі кверцетин дав характерну для нього дифракційну картину (рис. 4.18).

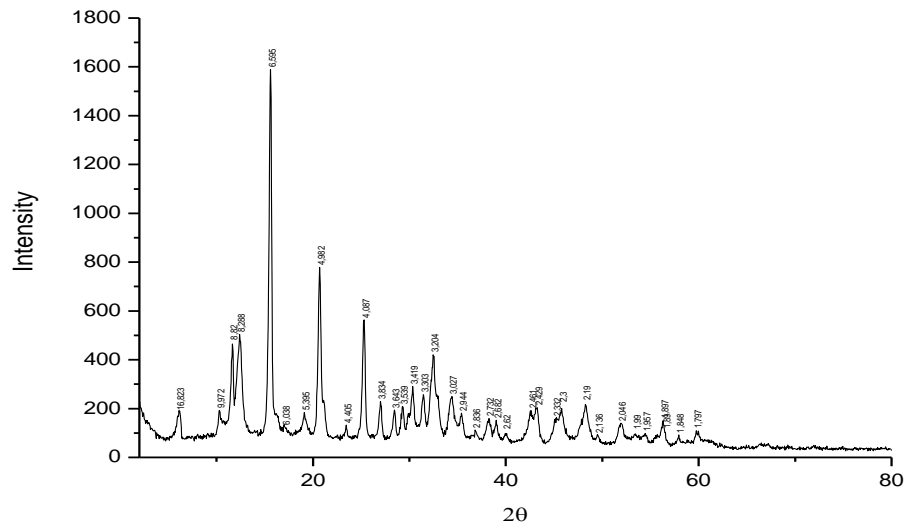


Рис. 4.18. Рентгенограма кверцетину [159]

РФА продукту сорбції пористим кукурудзяним крохмалем кверцетину показав (рис. 4.19), що пористий крохмаль знаходиться у аморфній формі, а кверцетин у вигляді кристалів розміром менше 10 нм в або у некристалічній формі [156].

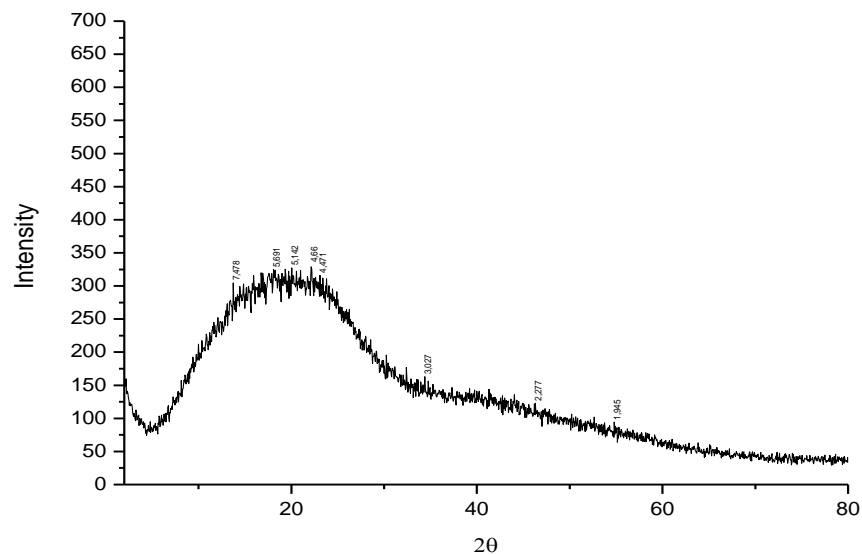


Рис. 4.19. Рентгенограма пористого кукурудзяного крохмалю з кверцетином [159]

Фізико-хімічні дослідження продукту сорбції показали, що між молекулами крохмалю та кверцетину має місце хімічна взаємодія. Проведені дослідження

показали можливість отримання водорозчинних комплексів кверцетину шляхом його сорбції на пористому крохмалі, що відкриває перспективи створення Р-вітамінних харчових добавок оздоровчої дії.

4.2. Дослідження сорбційної здатності пористого крохмалю щодо зв'язування ароматичних сполук на прикладі тимолу

4.2.1. Характеристика тимолу як представника ароматичних сполук

Тимол (систематична назва: 2 ізопропіл-5-метілфенол) – природний монотерпеновий фенол, похідний цимол, $C_{10}H_{14}O$, ізомер карвакрола, який був знайдений в маслі чебрецю, яке добули з *Thymus vulgaris* - найпоширенішого виду чебрецю, хочав багатьох інших видів рослин він також є.

Це біла кристалічна речовина з сильними антисептичними властивостями. Тимол має специфічний, сильний аромат, завдяки якому чебрець використовується як кулінарна приправа.

Тимол входить до класу природних речовин відомих як біоциди, що мають сильні антимікробні властивості, якщо використовувати їх самостійно, так і з іншими біоцидами, наприклад карвакролом.

Тимол слабо розчиняється у воді при нейтральному рН, але має високу розчинність у спиртах та інших органічних розчинниках. Крім того, добре розчиняється в розчинах лугів завдяки депротонізації фенольної групи [160].

Тимол має безліч застосувань. Він використовується у невеликих концентраціях для косметичних речовин як денатурант і ароматизатор, у виробництві харчових продуктів, як консервант проти харчових мікроорганізмів та у якості синтетичних смакових добавок, також його використовують у різних препаратах для їх консервації, та багатьох продуктах, таких як інсектициди, фунгіциди, та ін. [161].

4.2.2. Дослідження сорбційної здатності пористого крохмалю щодо тимолу

Для дослідження адсорбційної здатності різних видів пористого крохмалю щодо ароматоутворюючих сполук було сплановано експеримент з тимолом.

Зробили концентраційний ряд вихідних розчинів тимолу з вмістом 10; 5; 2,5; 1,25 і 0,675 % речовини. Концентраційний ряд готували шляхом послідовного розведення теплою водою вихідного розчину тимолу 10 %-ї концентрації.

Наважку 1 г модифікованого крохмалю додавали до 20 мл розчину тимолу певної концентрації. Колби періодично струшували протягом 48 годин. Шляхом фільтрування відокремлювали крохмаль із сорбованим тимолом від водної фази, 5 мл фільтрату переносили в колбу на 100 см³ і доводили до мітки 2 %-вим розчином NaOH для визначення залишкового вмісту тимолу у рідкій фазі (див. розділ 2). Відбирали 5 мл отриманого лужного розчину і додавали суміш, яка складається з 4 мл 0,5 %-го розчину сульфанілової кислоти, 1 мл розбавленої (1:50) сірчаної кислоти і 2 мл 0,5 %-го розчину NaNO₂. Через 1-2 хвилини розчин фотометрували при довжині хвилі 470 нм. Таким же чином визначали кількість тимолу у вихідних розчинах.

Ступінь сорбції тимолу модифікованим крохмалем розраховували за формулою, %:

$$R = \frac{C_0 - C}{C_0} 100\%, \quad (4.1)$$

де R – кількість адсорбованого тимолу, %; C_0 – вихідна концентрація тимолу, моль/л; C – концентрація тимолу у водній фазі, моль/л.

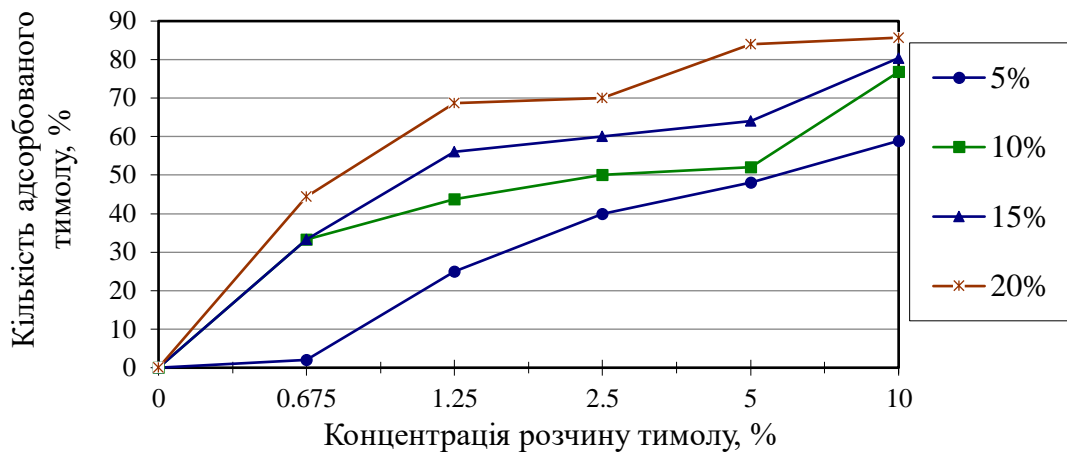


Рис. 4.20. Залежність кількості тимолу, сорбованого кукурудзяним пористим крохмалем, від концентрації розчинів тимолу і клейстерів (5, 10, 15, 20 %)

Як видно з отриманих даних, чим вища концентрація кукурудзяного крохмального клейстеру, з якого був отриманий модифікований крохмаль, і концентрація тимолу, тим більший ступінь сорбції тимолу. Так кукурудзяний модифікований крохмаль, отриманий з 5% клейстеру, найменше сорбував тимол з розчину концентрацією 0,675 %, а з розчину 10 % кількість адсорбованого тимолу становила вже 58,9 %. Пористий крохмаль, отриманий з 20 %-го клейстеру, показав ступінь сорбції тимолу з 5 і 10 % розчинів приблизно однаковий – 83 і 85 % відповідно. Слід зазначити, що за літературними даними зі збільшенням концентрації крохмального клейстера збільшується кількість дрібних пор.

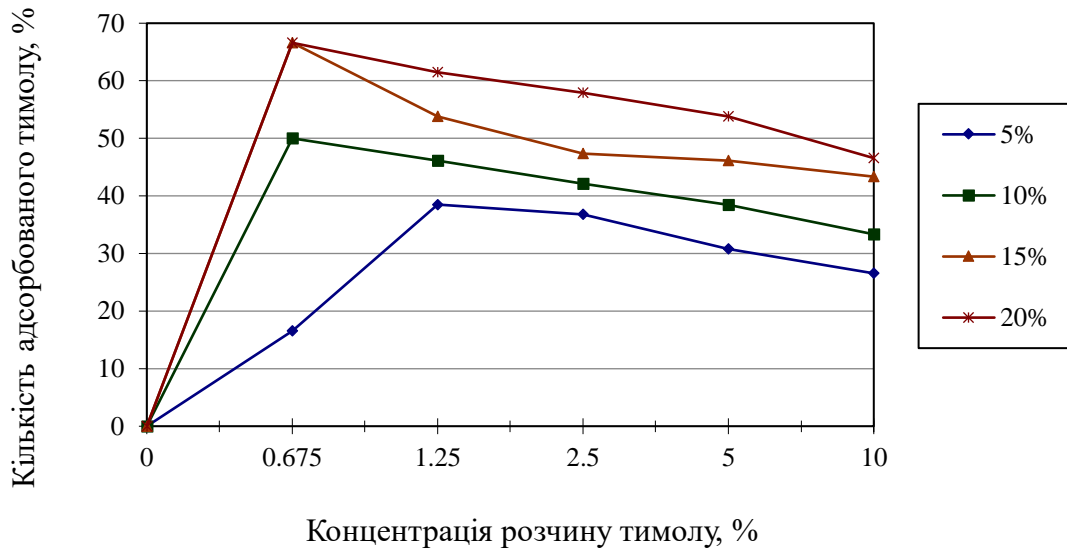


Рис. 4.21. Залежність кількості тимолу, сорбованого картопляним пористим крохмалем, від концентрації розчинів тимолу і клейстерів (5, 10, 15, 20 %)

Для пористого картопляного крохмалю спостерігаємо іншу залежність: чим вище концентрація тимолу, тим менше його адсорбує крохмаль. Так пористий картопляний крохмаль, отриманий з 5 % клейстеру, найкраще сорбує тимол з розчину концентрацією 1,25 %, а крохмаль з клейстерів більших концентрацій показує найбільший ступінь сорбції з розчину тимолу концентрацією 0,675%.

Експериментально встановлено, що кукурудзяний модифікований крохмаль, який був приготовлений з клейстеру концентрацією 20 % має найвищий ступінь інкапсулювання тимолу порівняно зі зразками, отриманими за інших концентрацій. Згідно з результатами досліджень значний ступінь зв'язування тимолу спостерігається і для зразків кукурудзяного пористого крохмалю, приготовлених з 10 і 15 %-х клейстерів з внесенням 10 %-х водних розчинів тимолу. Тому, кукурудзяний пористий крохмаль є технологічно більш перспективним для створення ароматизаторів та смакоароматичних добавок.

4.3. Дослідження ступеня резистентності модифікованого крохмалю

Всі харчові крохмалі можна розділити на глікемічні (легкозасвоювані) і резистентні (не засвоювані або складнозасвоювані) види. Загалом, засвоювані

крохмалі розщеплюються (гідролізуються) амілолітичними ферментами в тонкому кишечнику з утворенням вільної глюкози, яка стимулює виділення інсуліну. Однак резистентний (стійкий) крохмаль відноситься до частини крохмалю та крохмальних продуктів, які не перетравлюються при проходженні через шлунково-кишковий тракт [162].

Метою дослідження було перевірити і порівняти стійкість модифікованого картопляного і кукурудзяного крохмалів, отриманих з клейстерів різної концентрації, до гідролізу ферментами препарату «Панкреатин» з використанням методу визначення редукувальних речовин з 3,5-динітросалиціловою кислотою.

Опис методики визначення резистентності наведено у розділі 2 (див. п.2.3.2.) В ході експерименту визначали кількість редукувальних речовин (РР) в перерахунку на глюкозу, яка утворювалась при дії травних ферментів на модифікований пористий крохмаль за певних умов. Кількість РР, яка утворилася при дії ферментів, дає уявлення про швидкість розщеплення крохмалю у кишечнику (дослід *in vitro*). Результати наведені на рисунку 4.22.

Кількість редукувальних речовин (РР) в перерахунку на глюкозу, утворених внаслідок гідролізу модифікованого і нативного видів крохмалю, ферментним препаратом «Панкреатин», визначали методом з 3,5-динітросалиціловою кислотою. Калібрувальний графік використовували для визначення кількості РР в перерахунку на глюкозу в досліджуваних зразках крохмалю.

Властивості модифікованого РК і ступінь резистентності залежать від концентрації крохмального клейстеру, який піддавали заморожуванню-відтаванню. Оскільки спочатку замерзає вільна вода, а потім зв'язана можемо зробити висновок, що вміст сухих речовин у крохмальному клейстері, що піддавали заморожуванню-відтаванню, впливає на утворення кристалів льоду в даній системі. Залежно від концентрації клейстеру в структурі ретроградованого крохмалю змінюються розміри пор і сорбційні властивості крохмалю. Результати дослідження резистентності картопляного і кукурудзяного нативного і модифікованого крохмалю представлені на рис. 4.22.

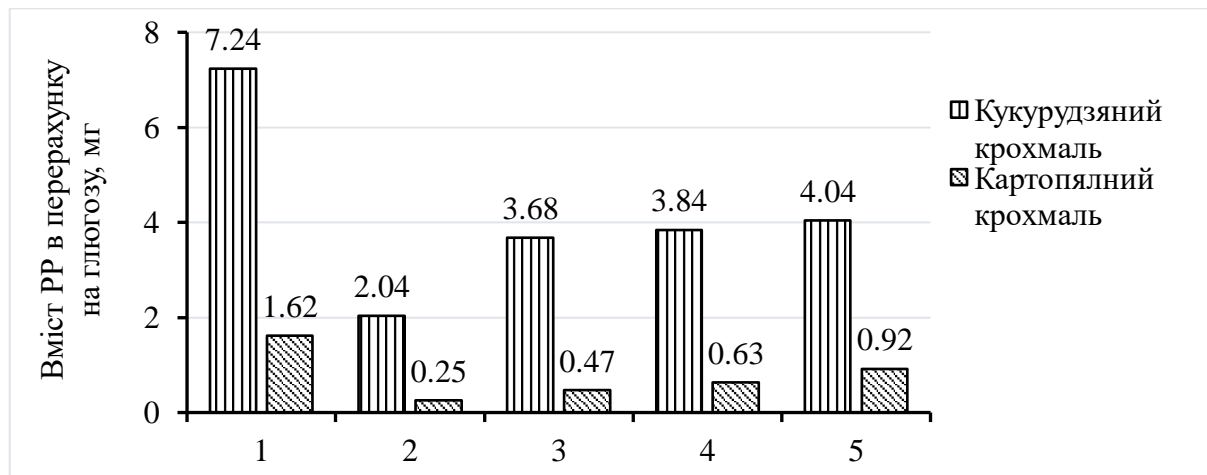


Рис. 4.22. Вміст РР (в перерахунку на глюкозу), що утворилися при гідролізі кукурудзяного і картопляного модифікованого крохмалю: 1-нативного; модифікованого, отриманого з клейстеру концентрацією: 2 – 5%; 3 – 10%; 4 – 15%; 5 – 20%

Отримані результати досліджень показують що модифікація підвищує стійкість крохмалю до ферментативного гідролізу. Картопляний модифікований крохмаль виявив більшу резистентність до ферментативного гідролізу ніж кукурудзяний. Найбільш стійким є модифікований крохмаль отриманий з 5% крохмального клейстеру, найменш – отриманий з 20% крохмального клейстеру, що можна пояснити меншими розмірами пор, які утворюються внаслідок модифікації.

Таким чином, розроблений пористий модифікований крохмаль може бути віднесений до резистентного крохмалю третього типу і рекомендований до використання у харчових продуктах оздоровчого призначення.

4.4 Дослідження способів використання крохмальних похідних для інкапсулювання біологічно активних речовин

4.4.1. Дослідження інкапсулювання екстракту стевії і використання мальтозного сиропу для розроблення комплексного цукрозамінника

Промисловість напоїв останні двадцять років приділяла велику увагу розробці напоїв зі зниженою калорійністю, так званих легких, дієтичних напоїв. Використання підсолоджувальних речовин з високим ступенем солодкості для

приготування напоїв має обмежену здатність до відтворення «чистого» смаку сахарози і надає неприємного присмаку напоям. Перевага в пошуку підсолоджувальних речовин для заміни цукру у напоях надається речовинам рослинного походження. Екстракт стевії широко використовують у виробництві різних харчових продуктів, а саме безалкогольних напоїв, хлібобулочних, кондитерських, молочних і дієтичних виробів тощо.

Проте, не зважаючи на ряд вагомих переваг та високу солодкість, екстракти стевії мають специфічний гіркий присмак. Як наслідок, для застосування їх у виробництві безалкогольних напоїв, виробник стикається з проблемою його маскування. Тому, існує потреба у методах поліпшення сенсорних характеристик низькокалорійних напоїв шляхом використання композицій цукрозамінників. Останніми роками за кордоном мальтоза широко застосовується у виробництві продуктів дієтичного харчування, а також у медицині. Мальтозні сиропи, отримані шляхом ферментативного гідролізу крохмалю, є цінними харчовими продуктами, більш солодкими і менш в'язкими порівняно зі звичайною патокою крохмальною, мають приємний ненав'язливий солодовий запах.

Мальтозний сироп не має стороннього присмаку, позитивно впливає на смак та в'язкість готових виробів. Також, мальтозні сиропи не гігроскопічні, термостабільні, не кристалізуються при зберіганні, менш схильні до потемніння, порівняно з карамельною патокою, тому придатні для використання в композиції підсолоджувальних речовин, що особливо важливо для подальшого виробництва прозорих безалкогольних напоїв [163].

Метою дослідження було встановити можливість інкапсулювання екстракту стевії у структуру пористого крохмалю і розробити натуральний рідкий цукрозамінник на основі екстракту стевії з використанням мальтозного сиропу – продукту конверсії крохмалю ферментами – для маскування гіркого присмаку стевії і подальшого використання у технології безалкогольних напоїв, борошняних кондитерських виробів тощо.

Для приготування підсолоджувача брали розчини порошкоподібного екстракту стевії концентрацією 1, 3, 5 % змішували з крохмальним клейстером і

піддавали заморожуванню-відтаванню з подальшим зневодненням і висушуванням (див. п. 2.2). Отримані зразки пористого крохмалю зі стевією мали різний ступінь солодкості, проте у використаних концентраціях неприємний присмак стевії не відчувався. Отримані зразки були використані у рецептурі кексу з метою зменшення вмісту цукру в рецептурі і заміни частини борошна на резистентний крохмаль.

В ході дослідження комплексного цукрозамінника з використанням мальтозного сиропу для розрахунку солодкості користувалися даними про солодкість окремих підсолоджувальних речовин, представлених у таблиці 4.7.

Таблиця 4.7

Ступінь солодкості підсолоджувальних речовин

Підсолоджувальна речовина	Ступінь солодкості
Мальтозний сироп	0,46
Екстракт стевії	300
Цукор білий	1

Витрати підсолоджувальних речовин і їхніх композицій розраховували виходячи з їх коефіцієнтів солодкості, а потім уточнювали за результатами сенсорного аналізу. Необхідну кількість підсолоджувачів для приготування комплексного цукрозамінника (г), розраховували за формулою:

$$П = С/К_c \quad (4.2)$$

де: С – кількість замінюваного цукру, г; К – коефіцієнт солодкості (сахарозний еквівалент).

Розраховане за коефіцієнтами солодкості співвідношення мальтозного сиропу і екстракту стевії представлено у таблиці 4.8. Згідно експериментальних даних заміна 40-50 % сахарози на екстракт стевії з додаванням мальтозного сиропу дозволяє отримувати напої з солодким смаком без відчуття гіркоти, притаманного екстракту стевії.

Таблиця 4.8

Розрахунок співвідношення мальтозного сиропу і екстракту стевії відповідно до вмісту цукру за базовою рецептурою

Номер зразка	Вид підсолоджувача			
	Екстракт стевії, г	Сахарозний еквівалент	Мальтозний сироп, г	Сахарозний еквівалент
1	0,140	42,2	105	48,3
2	0,138	41,28	107	49,22
3	0,133	39,9	110	50,6
4	0,129	38,98	112	51,52
5	0,127	38,06	114	52,44

Для дослідження реологічних показників рідкого цукрозамінника готували розчини екстракту стевії концентрацією 1, 5, 10 %. Мальтозний сироп, отриманий згідно методики [164] (78% СР) додавали до різних кількостей розчину стевіозиду для досягнення вмісту СР у суміші 60-62%.

В ході досліджень було підготовлено три зразки розчинів екстракту стевії різної концентрації:

зразок № 1 – 1 % розчин стевіозиду у кількості 15 мл;

зразок № 2 – 5 % розчин стевіозиду у кількості 10 мл;

зразок № 3 – 10 % розчин стевіозиду у кількості 5 мл.

Мальтозний сироп додавали до визначеної кількості розчину стевіозиду до досягнення вмісту СР суміші 62 %.

Реологічні властивості зразків підсолоджувальних композицій дослідили на приладі «Реотест-2». За отриманими даними будували реологічні криві залежності в'язкості і плинності системи від напруги зсуву (рис. 4.23, 4.24).

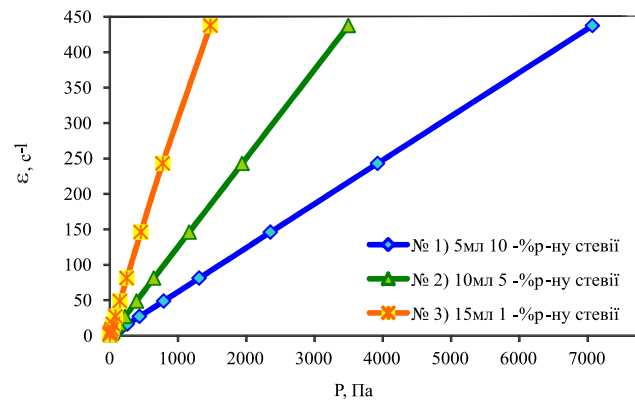


Рис. 4.23. Реологічні криві течії комплексного цукрозамінника з екстрактом стевії та мальтозним сиропом за різної концентрації розчину стевіозиду: 1%, 5%, 10%

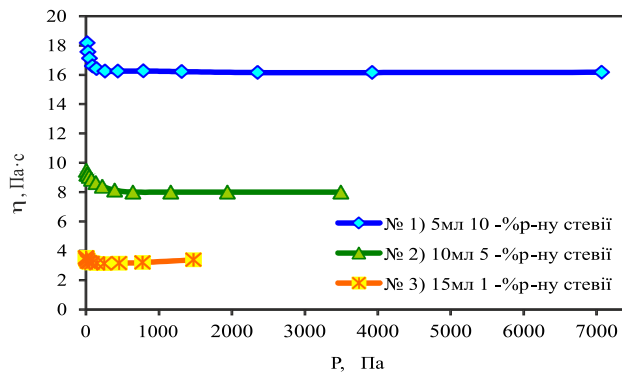


Рисунок 4.24. Реологічні криві в'язкості комплексного цукрозамінника з екстрактом стевії та мальтозним сиропом за різної концентрації розчину стевіозиду: 1%, 5%, 10%

Проаналізувавши криві плинності (рис. 4.23), визначали реологічні параметри, які характеризують умовну статистичну межу плинності P_{k1} , верхню межу плинності або межу міцності системи P_m .

Із кривих в'язкості (рис. 4.24) було визначено найбільшу (η_0) і найменшу ефективну в'язкість (η_m) та їх різницю ($\eta_0 - \eta_m$), що характеризує величину аномалії в'язкості і міцність утворених структурованих систем.

З аналізу реологічних кривих (рис. 4.23, 4.24) видно, що більший діапазон напружень, в якому спостерігається руйнування структури, встановлено для зразка № 1 комплексного цукрозамінника з розчином стевіозиду концентрацією 10 %.

Порівняно з іншими зразками він утворює більш пластичну рідкоподібну структуровану систему.

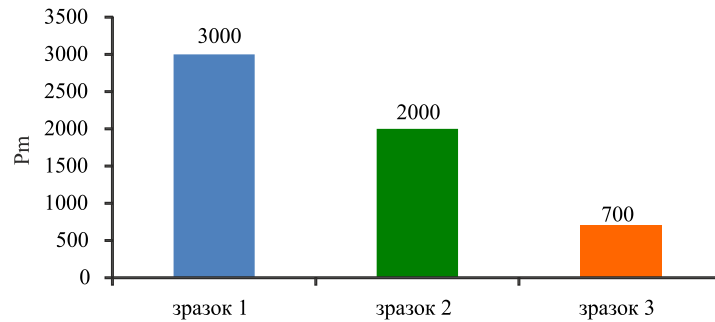


Рис. 4.25. Характеристика міцності утвореного структурного каркасу рідкого цукрозамінника в залежності від концентрації використаного розчину стевіозиду

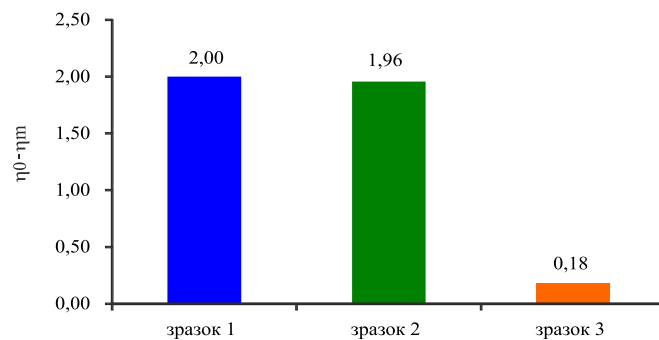


Рис. 4.26. Залежність показника, що характеризує міцність коагуляційних структур рідкого цукрозамінника від концентрації використаного розчину стевіозиду

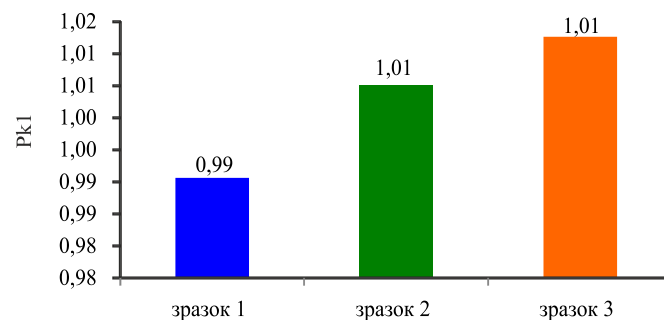


Рис. 4.27. Залежність показника, що характеризує здатність до пластичної деформації рідкого цукрозамінника в залежності від концентрації використаного розчину стевіозиду

Аналіз отриманих реологічних кривих показав, що усі зразки комплексного цукрозамінника з екстрактом стевії та мальтозним сиропом утворюють рідкоподібні неньютонівські структуровані системи. Найміцніший структурний каркас (рис. 4.26) та найбільш міцна надмолекулярна коагуляційна структура рідкого цукрозамінника (рис. 4.27) утворюються в зразку № 1, а здатність до пластичної деформації у цього зразка найменша, що є небажаним, оскільки ускладнює дозування цукрозамінника у виробництві безалкогольних напоїв. У зразку № 3 утворюється навпаки занадто слабка надмолекулярна структура. Для уникнення транспортування зайвої рідини і більш ефективного змішування рецептурної суміші напою найкращим є зразок № 2, в якому використовували розчин стевіозиду концентрацією 5 %.

Попередні дослідження показали перспективність використання інкапсульованих у пористий крохмаль стевіозидів у технологіях харчових продуктів. На основі комплексного підсолоджувача вирішено розробити рецептуру безалкогольного напою для спеціального дієтичного споживання.

4.4.2. Дослідження використання пектину і модифікованого крохмалю для інкапсульювання кверцетину

В якості гідрофільних носіїв було вибрано пектин, отриманий з картопляно-цитрусової і картопляно-гарбузової сировини і крохмаль картопляний пористий у співвідношенні 50:50. Зразки пектину готували у лабораторних умовах з комбінованої картопляно-цитрусової і картопляно-гарбузової сировини, взятих при співвідношенні як 1:1 [165]. Для приготування дослідних зразків брали 0,5 г суміші пористого крохмалю і пектину (табл. 4.9) вміщували у фарфорову чашку, доливали 50 мл дистильованої води, перемішували до повного розчинення композиції пектин- крохмаль.

Невеликими порціями (по 0,01 г) всипали кверцетин до максимально повного диспергування. Потім випарювали воду зі зразків і розтирали до стану порошку.

Співвідношення сумішей пектину з кверцетином

№	Зразок пектину	Пропорція (пектин:кверцетин), г
1	Пектин з картопляно-цитрусової сировини – пористий крохмаль	0,5:0,02
2	Пектин з картопляно-гарбузової сировини – пористий крохмаль	0,5:0,02

Всі отримані порошки досліджували в Інституті технічної теплофізики НАН України на дериватографі. Отримували термічні характеристики досліджуваних зразків: 1 – залежність зміни різниці температур досліджуваного зразка і еталону, який не зазнає перетворень (інертний носій), від часу нагріву (крива ДТА); 2 – залежність зміни маси від температури (термогравіметрична крива ТГ); 3 – залежність швидкості зміни маси, тобто похідної dm/dt , від температури (диференціальна термогравіметрична крива ДТГ); 4 – зміна температури від часу нагрівання [157,158].

Кількісно з них оцінюються лише 2 криві – шкала температури (червона) та шкала залежності втрати маси від температури (зелена) - термогравіметрична крива. Синя або коричнева – шкала швидкості зміни маси від температури (моментальна швидкість втрати маси), рожева - шкала різниці температури від досліджуваного зразка і еталону, який не зазнає перетворень (рис. 4.28-4.29).

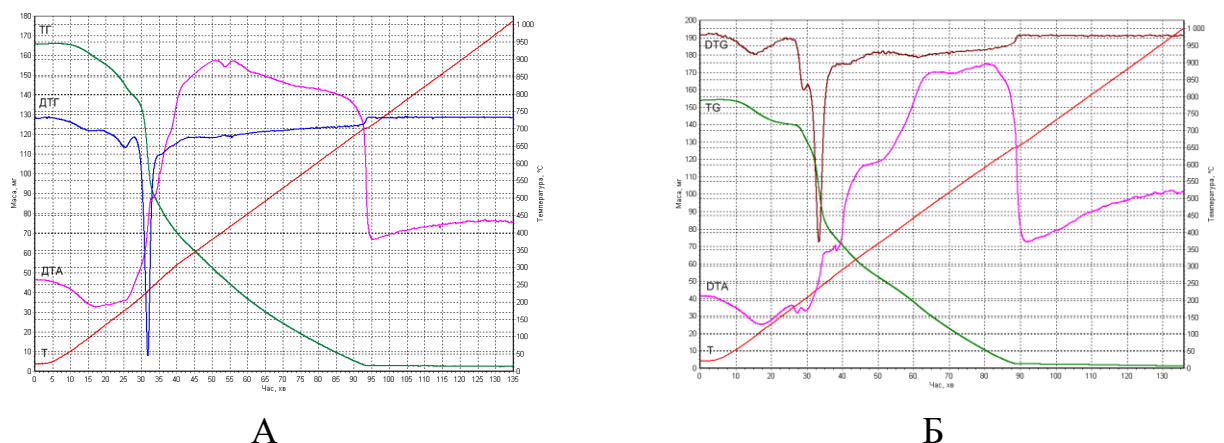


Рис.4.28. Дериватограми крохмалю і пектину, отриманого з картопляно-цитрусової сировини, з кверцетином (а) і без нього (б)

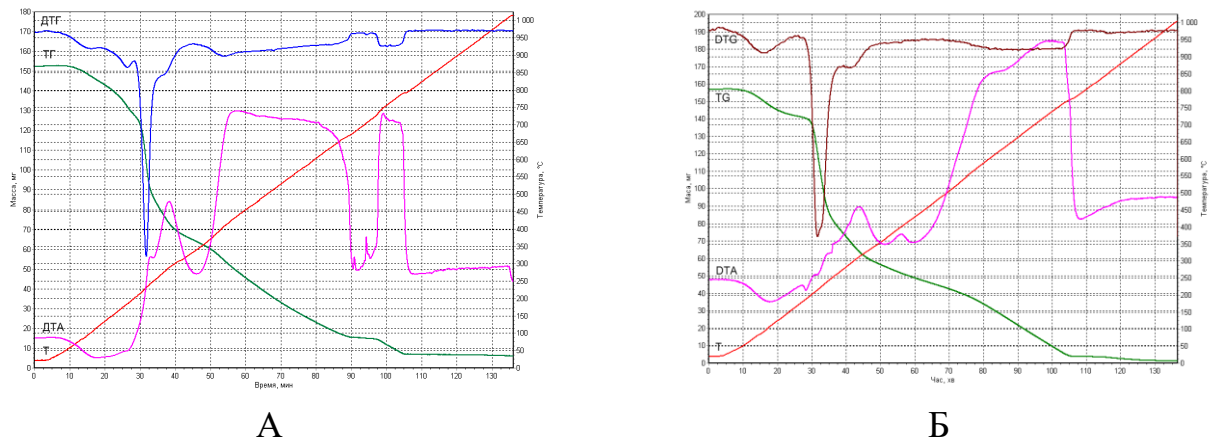


Рис.4.29. Дериватограми крохмалю і пектину, отриманого з картопляно-гарбузової сировини, з кверцетином (а) і без нього (б)

На основі всіх дериватограм склали таблицю основних температурних змін досліджуваних речовин.

Таблиця 4.10

Таблиця основних температурних змін досліджуваних речовин

Зразок	Температура початку видалення води, °C	Температура початку деструкції, °C	Температура закінчення деструкції, °C
Кверцетин	–	316	–
Пористий крохмаль + пектин отриманий з картопляно-цитрусової сировини+ кверцетин	45	220	700
Пористий крохмаль + пектин отриманий з картопляно-цитрусової сировини	40	180	650
Пористий крохмаль + пектин отриманий з картопляно-гарбузової сировини	50	225	790
Пористий крохмаль + пектин з картопляно-гарбузової сировини	50	200	760

Криві різниці температур досліджуваного зразка і зразка, який змінюється (інертний носій) від часу нагрівання (крива ДТА) відрізняються. Температура початку деструкції у продуктах інкапсулювання кверцетину у матрицю крохмаль-

пектин збільшуються, порівняно з сумішшю крохмаль-пектин без додавання кверцетину. Так, для суміші з пектином, отриманим з картопляно-цитрусової сировини, це значення становить 180 °С, а для суміші з пектином, отриманим з картопляно-гарбузової сировини – 200°С, а при додаванні кверцетину це значення зростає до 220 °С і 225°С відповідно. Даний факт можна характеризувати як успішне поєднання різних компонентів суміші та отримання речовини з новими фізико-хімічними властивостями. Також важливо помітити, що температура плавлення кверцетину – 316 °С, а на всіх зазначених дериватограмах ми не спостерігаємо пік за цієї температури. Це може бути свідченням того, що кверцетин взаємодіє з усіма зразками з утворення хімічних зв'язків за типом хемосорбції і результати досліджень щодо утворення препаратів природних полісахаридів з інкапсульованим кверцетином можна вважати успішними.

4.4.3. Дослідження способу інкапсульювання екстракту гібіскусу у структуру модифікованого крохмалю

Для отримання порошкоподібного екстракту гібіскусу на основі модифікованого крохмалю було досліджено спосіб екстрагування сухих квітів гібіскусу водно-спиртовими розчинами. Для інкапсульювання екстракту гібіскусу було вирішено використати крохмаль фізичної модифікації, а саме крохмаль з підвищеною вологопоглинальною здатністю – набухаючий крохмаль (НК). Для цього було обрано водно-спиртові розчини різної концентрації. Встановлено, що екстрагент і вмісту спирту в ньому має вплив на екстрактивність та перехід поліфенольних сполук, зокрема антоціанів в екстракт (рис. 4.31).

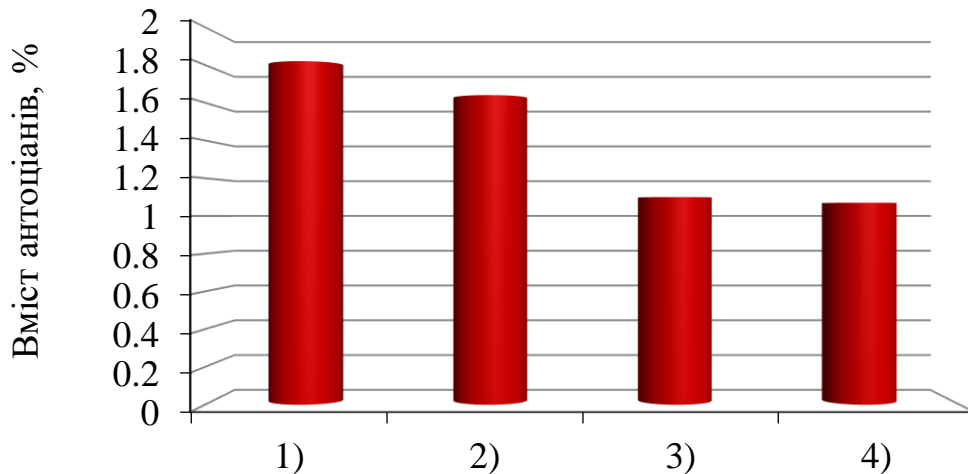


Рис. 4.30. Вміст екстрагованих антоціанів у зразках каркаде зі спиртом, %:
1) –30; 2) –50; 3) –75; 4) – 96.

При використанні водно-спиртових розчинів концентрацією 30 і 50 %, вміст яких становить 1.82 та 1.64 % відповідно найбільша кількість антоціанів переходить в екстракт. Вміст антоціанів в екстракті зменшується в 1.65 і 1.49 раза при використанні як екстрагента 75 %-го розчину, або 96-% етилового спирту,

Приготування екстракту гібіскусу у формі порошку, на основі модифікованого НК, має важливу роль через те що він має підвищену здатність до набрякання та розчинення в холодній воді, утворюючи при цьому однорідний клейстер. Використання НК відкриває перспективи значного зменшення часу термічного оброблення суміші для приготування готової страви, що дозволить зберегти біологічно активні речовини екстракту гібіскусу. До переваг використання такого виду крохмалю можна віднести те, що при цьому буде утворюватися драглеподібна структура у готовому продукті з поліпшеними органолептичними властивостями: ніжною текстурою, відсутністю запаху і присмаку сирого крохмалю порівняно з показниками клейстерів, приготованих з нативного крохмалю. Крім того, НК може відігравати роль стінового матеріалу для інкапсулювання біологічно активних речовин, що дозволить захистити термолабільні вітаміни і біофлавоноїди. Швидке підсушування продукту до необхідної вологості забезпечується тим, що при нанесенні спиртового екстракту гібіскусу у структуру НК, останній не розчиняється. Крім того, крохмаль відіграє

роль структуроутворювача і згущувача. Отриманий напівфабрикат містить інкапсульовані БАР екстракту гібіскусу.

Важливими, з точки зору технології, є показники в'язкості отриманих напівфабрикатів, та їх вплив на консистенцію готового продукту.

Досліджено реологічні властивості напівфабрикатів на основі екстракту гібіскусу. Як зразок порівняння обрано набухаючий картопляний крохмаль. Після обробки даних, отриманих при вимірюванні на приладі «Реотест-2» будували повні реологічні криві течії й в'язкості і розраховували основні реологічні параметри (див. розділ 2.3.2) (табл. 4.11).

Таблиця 4.11

Реологічні параметри клейстерів

Показник	Одиниця вимірювання	Номер і найменування зразка		
		1	2	3
		набухаючий картопляний крохмаль	напівфабрикат гібіскусу (екстракт)	
спиртовий	водно-спиртовий			
η_0	Па · с	112.29	106.38	82.74
η_m		7.60	2.80	2.40
$\eta_0 - \eta_m$		104.69	103.58	80.34
$P_{\kappa 1}$	Па	40	92	70
$P_{\kappa 2}$		1620	580	400
P_m		2520	940	960
P_r		350	175	115
$P_{\kappa 1} / P_{\kappa 2}$	—	0.02	0.16	0.18
$P_m / P_{\kappa 1}$		63.00	10.22	13.71
$P_{\kappa 1} / \eta_0$		0.36	0.86	0.85
$P_{\kappa 1} / \eta_m$		5.26	32.87	29.18

Вивчення реологічних параметрів приготовлених зразків вказує на те, що картопляний набрякаючий крохмаль є найбільш стійким до збільшення напруги зсуву. Зразки порошкоподібного екстракту гібіскусу спиртової (див. табл. 4.11, зразок 2) і водно-спиртової екстракції (див. табл. 4.11, зразок 3) мають меншу в'язкість і міцність структури, що пояснюється присутністю в складі екстракту кислот органічного походження, які створюють кисле середовище при розчиненні напівфабрикату у воді.

З усіх розрахованих реологічних показників (див. табл. 4.11) досліджуваних зразків нами були обрані параметри P_m і P_r , що характеризують значення напруги практично зруйнованої та не зруйнованої структури, для вивчення впливу внесених екстрактів та інгредієнтів на властивості зразка при розчиненні у воді (рис. 4.31).

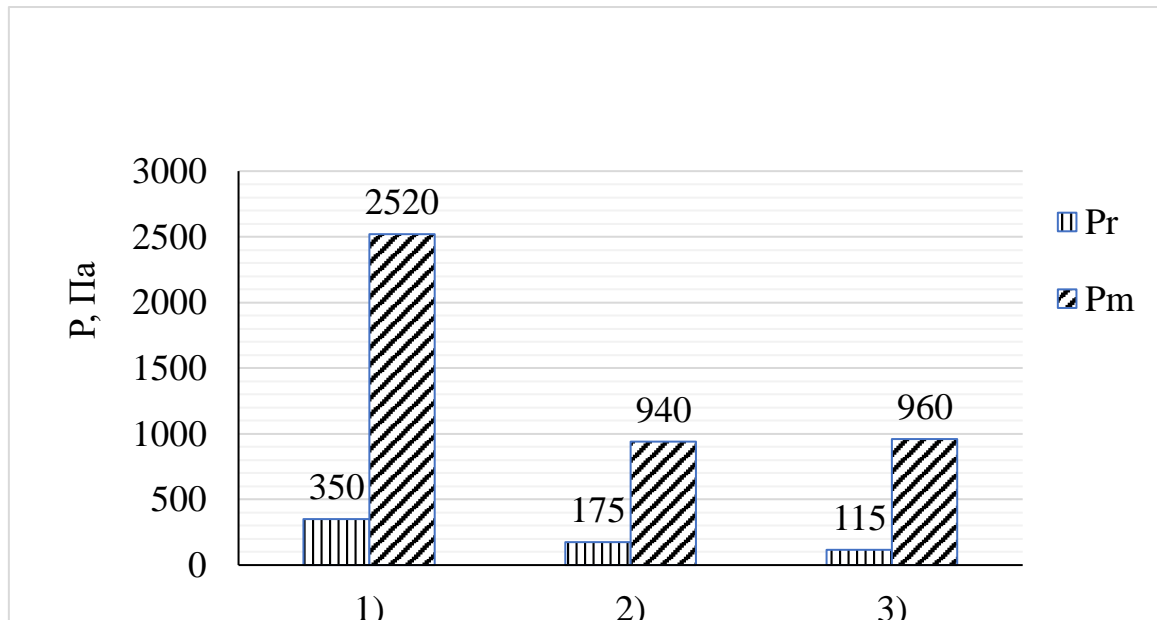


Рис. 4.31. Напряга практично зруйнованої структури P_m

і практично не зруйнованої структури P_r зразків клейстерів 1–3 (див. табл. 4.11)

З діаграми видно, що напівфабрикати порошкоподібного екстракту гібіскусу, отримані на спиртовому і водно-спиртовому екстрактах відрізняються незначною мірою, причому максимальна P_m дещо більша для зразку 3 (водно-спиртовий екстракт), а напруга P_r , яку витримує зразок до руйнування, має більше значення для зразку 2 (спиртовий екстракт). Слід відмітити, що використання водно-спиртового екстракту гібіскусу для отримання порошкоподібного напівфабрикату кисілю призводить до незначного погіршення реологічних показників системи порівняно із спиртовим екстрактом, проте покращує функціональні властивості через більший вміст антоціанів і органічних кислот.

Використання сухого екстракту гібіскусу підвищує харчову цінність продукції, яка була виготовлена на основі розробленого напівфабрикату. Це відбувається завдяки вмісту цілого комплексу флавоноїдів, антоціанів, кислот органічного походження, амінокислот, вітамінів, пектину і мінеральних речовин.

Висновки за розділом 4

1. Експериментально встановлено, що модифікований пористий крохмаль придатний для інкапсулювання низькомолекулярних речовин. Кількість аскорбінової кислоти, включеної в структуру крохмалю, залежить від виду крохмалю і концентрації крохмального клейстеру, з якого був приготовлений модифікований крохмаль, проте майже не залежить від концентрації розчину аскорбінової кислоти. Включення аскорбінової кислоти в структуру пористого крохмалю краще відбувається при введенні у крохмальні клейстери низьких концентрацій (5 і 10 %), ніж у концентровані клейстери (15 і 20 %)

2. Встановлено, що збагачений аскорбіновою кислотою кукурудзяний пористий крохмаль, отриманий при заморожуванні клейстерів концентрацією 5 і 10 %, краще утримує аскорбінову кислоту своєю поверхнею. При заморожуванні концентрованих крохмальних клейстерів (15, 20 %) з аскорбіновою кислотою утворюється більш щільна структура пор, що впливає на ступінь її інкапсулювання і вивільнення. Дослідження щодо картопляного пористого крохмалю показали, що зі збільшенням концентрації клейстера, ступінь вивільнення аскорбінової кислоти зменшується.

3. Шляхом введення в охолоджений крохмальний клейстер кверцетину з подальшим заморожуванням за певних умов і відтаванням, було отримано продукт сорбції кверцетину на пористому крохмалі. Фізико-хімічні дослідження отриманого продукту сорбції показали, що між молекулами крохмалю та кверцетину може мати місце хімічна взаємодія за типом хемосорбції. Проведені дослідження показали можливість отримання водорозчинних комплексів кверцетину шляхом його сорбції на пористому крохмалі, що відкриває перспективи створення Р-вітамінних харчових добавок оздоровчої дії.

4. Експериментально встановлено, що кукурудзяний модифікований крохмаль, приготовлений з клейстеру концентрацією 20 % має найбільшу сорбційну здатність по відношенню до тимолу порівняно зі зразками інших концентрацій. Тому, він є технологічно більш перспективним для створення ароматизаторів та смакоароматичних добавок.

5. Отримані результати досліджень показують, що при комбінації етапів заморожування-відтавання внаслідок льодоутворення у клейстерах, відбувається ретроградація крохмальних полісахаридів з утворенням міцної структури, не доступної до дії амілолітичних ферментів. Перевірка на резистентність показала, що пористий крохмаль виявляє стійкість до ферментативного гідролізу і має властивості резистентного крохмалю третього типу РКЗ.

6. Доведено можливість використання сумішей пористого крохмалю і пектину з комбінованої сировини для інкапсулювання кверцетину, що відкриває перспективи для створення біологічно активних вітамінних комплексів для збагачення харчових продуктів.

7. Розроблено спосіб отримання порошкоподібного інкапсульованого екстракту гібіскусу на основі модифікованого набухаючого картопляного крохмалю, який може бути застосований в якості згущувача, підкислювача і барвника в рецептурах харчових концентратів. Було встановлено, що при екстрагуванні сировини, що містить антоціани, доцільно використовувати 30%-й водно-спиртовий розчин. Завдяки використанню набухаючого крохмалю харчові концентрати кислів не потребують варіння, а наявність в екстракті гібіскусу вітамінів, органічних кислот, флавоноїдів і, особливо, антоціанів підвищує біологічну цінність готового продукту.

Наукові результати даного розділу дисертації висвітлені в роботах [1-17,19,20-24]

РОЗДІЛ 5

ВИКОРИСТАННЯ ЗБАГАЧЕНОГО ПОРИСТОГО КРОХМАЛЮ У ТЕХНОЛОГІЯХ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

5.1. Розроблення рецептури кексу функціонального призначення з використанням резистентного пористого крохмалю збагаченого кверцетином

Хлібобулочні та борошняні кондитерські вироби (печиво, кекси, тістечка, пряники, тощо) займають значну частину у харчуванні українців. Проте, такі продукти мають невисоку фізіологічну цінність і характеризуються високим вмістом вуглеводів та жирів, але не містять харчових волокон, вітамінів, мінеральних речовин. Вживання таких продуктів у великій кількості може негативно вплинути на організм. Тому, з метою коригування хімічного складу було поставлено задачу розроблення рецептури кексу оздоровчого призначення з використанням збагаченого кверцетином пористого крохмалю [166].

5.1.1. Вивчення можливості часткової заміни борошна пшеничного на пористий резистентний крохмаль у рецептурі кексу

Модифікований резистентний крохмаль використали в рецептурі кексу, як заміник частини пшеничного борошна. Використання резистентного крохмалю дає можливість знизити калорійність і глікемічність виробу. Вживання виробів з часткою резистентного крохмалю сприяє здоров'ю травної системи і поліпшує контроль рівня цукру в крові та зменшує чутливість до інсуліну [167].

Для розроблення рецептури кексу «Новинка» у якості базової було обрано рецептуру кексу «Столичний» (табл.5.1) [168].

Рецептури кексів звичайного і з додаванням резистентного пористого крохмалю, розраховані на 1 кекс масою 100 г, представлено у табл.5.1. Для порівняння обрано базову рецептуру кексу «Столичний». В рецептурі кексу використовували резистентний картопляний крохмаль, отриманий шляхом заморожування-відтавання 5 %-го клейстеру, оскільки він показав найменші значення вмісту РР в перерахунку на глюкозу після гідролізу травними ферментами

(рис. 4.22). Для цього в рецептурі кексу «Новинка» частину борошна, а саме 15,30 і 45%, замінювали резистентним крохмалем. Рецептури контрольного зразку і кексів «Новинка» з різним вмістом резистентного крохмалю представлено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Рецептури кексів «Столичний» і «Новинка»

Інгредієнт, г	Кекс «Столичний» (контроль)	Кекс «Новинка» (зразок 1)	Кекс «Новинка» (зразок 2)	Кекс «Новинка» (зразок 3)
Борошно пшеничне вищого гатунку	25,6	21,76	17,92	14,08
Модифікований крохмаль	–	3,84	7,68	11,52
Цукор	19,3	19,3	19,3	19,3
Маргарин	19,2	19,2	19,2	19,2
Сіль	0,077	0,077	0,077	0,077
Родзинки	19,2	19,2	19,2	19,2
Есенція	0,077	0,077	0,077	0,077
Амоній вуглекислий	0,079	0,079	0,079	0,079
Вихід в сухих речовинах	83,5	83,5	83,5	83,5
Вихід в натурі, г	100	100	100	100

5.1.1.1 Оцінка якості кексів, виготовлених з використанням пористого резистентного крохмалю

Для порівняння кексів, отриманих з додаванням модифікованого РК і за базовою рецептурою (контроль), використовували методи оцінювання в балах за розробленою 30-бальною шкалою і побудови багатокутників якості [169].

Органолептичні показники досліджуваних зразків кексів визначали методом сенсорного аналізу та дегустацією з баловою оцінкою за сумою органолептичних показників.

Розроблена балова шкала містила такі параметри: стан поверхні, форма, колір скоринки, структура пористості, аромат, смак, розжовування м'якушки. З метою розробки 30-балової шкали, був використаний метод експертних оцінок для

визначення коефіцієнтів значущості,. Кожен показник оцінювався балами: 1,5 – дуже суттєвий, 1 – суттєвий, 0,5 – несуттєвий, 0 – не варто включати в шкалу.

На основі оцінювання коефіцієнтів значущості органолептичних показників була розроблена 30-бальна шкала органолептичної оцінки якості кексів, яка представлена в табл. 5.2.

Таблиця 5.2

Результати оцінювання органолептичних показників кексів за 30-бальною шкалою

Показник	Коефіцієнт значущості	Максимальна сума балів з урахуванням коефіцієнтів значущості
Форма	1	5
Стан поверхні	0,5	5/2,5
Колір скоринки	1	5
Структура пористості	0,5	5/2,5
Аромат	0,5	5/2,5
Смак	1,5	5/7,5
Розжовування м'якушки	1	5
Усього	–	30

На основі оцінок, отриманих під час сенсорного аналізу готових кексів, було побудовано зведену таблицю середніх оцінок кожного зразка (табл. 5.3).

Таблиця 5.3

Органолептична оцінка кексів контрольного і дослідних зразків з додаванням модифікованого резистентного крохмалю

Показник	Коефіцієнт вагомості	Кекс «Столичний»	Кекс «Новинка» зразок 1	Кекс «Новинка» зразок 2	Кекс «Новинка» зразок 3
Форма	1	4	4,5	4,75	4,3
Стан поверхні	0,5	4,5/2,25	4,5/2,25	4,7/2,35	4,2/2,1
Колір скоринки	1	5	5	5	4,7
Структура пористості	0,5	4/2	4,5/2,25	5/2,5	4,7/2,35

Продовження табл. 5.3

Аромат	0,5	5/2,5	5/2,5	5/2,5	5/2,5
Смак	1,5	4,5/6,25	4,8/7,2	5/7,5	4,5/6,75
Розжовування м'якушки	1	4,5	4,6	4,75	4,75
Усього	-	26,5	28,3	29,35	27,45

Кекси оцінювали за площею багатокутників якості, побудованих за даними табл. 5.3.

S=123,25



1) Кекс «Столичний»

S=133,83



2) Кекс «Новинка» зразок 1

S=144,57



3) Кекс «Новинка» зразок 2

S=127,26



4) Кекс «Новинка» зразок 3

Рис. 5.1. Профілограми якості кексів «Столичний» (базова рецептура) і «Новинка» (з резистентним крохмалем)

З отриманих результатів видно, що найкращі показники за експертним оцінюванням, а також площею багатокутника якості, а саме 144,57, має кекс «Новинка» зразок 2 (далі «Новинка»), із заміною борошна на модифікований РК у кількості 30%. Кекс «Новинка» зразок 1 має площу багатокутника якості 133,83,

що менше ніж значення для зразку 2. Кекс «Столичний» отримав нижчі оцінки і площа багатокутника якості для даного зразка становить – 123,25, що не сильно відрізняється від кексу «Новинка» (зразок 3). Робимо висновок що заміна борошна модифікованим РК у кількості 45% до маси борошна погіршує якість кексів.

Отже, збагачення кексів резистентним крохмалем, який виконує функції харчових волокон, дозволяє не змінювати технологічні параметри виробництва [170]. З літературних джерел відомо, що додавання резистентного крохмалю до рецептури кексів змінює текстуру, сприяючи пом'якшенню м'якушки, він менше впливає на реологічні характеристики тіста, порівняно з харчовими волокнами. Також, кекси приготовлені з додаванням резистентного крохмалю характеризувалися зменшеною втратою вологи протягом двох тижнів зберігання, порівняно з контрольними зразками [171]. Ці дані підтверджуються балами експертного оцінювання за показником «розжовування м'якушки». Найкращі бали мали кекси з заміною пшеничного борошна на РК у кількості 15 і 30 %.

Кекси оцінювали за показником глікемічності (ПГ) (табл. 5.4), який розраховували за методикою розробленою в НУХТ [172] з урахуванням глікемічного індексу вуглеводів і їх вмісту у 100 г готового виробу.

Таблиця 5.4

**Кількісний розрахунок вмісту вуглеводів та показника глікемічності
у кексі «Столичному»**

Вид сировини	Вміст, г в 100 г кексу	Вміст вуглеводів									
		сахароза (ГІ=65%)		мальтоза (ГІ=105%)		глюкоза (ГІ=100%)		фруктоза (ГІ=20%)		крохмаль (ГІ=70%)	
		в 100 г сировини	в 100 г кексу	в 100 г сировини	в 100 г кексу	в 100 г сировини	в 100 г кексу	в 100 г сировини	в 100 г кексу	в 100 г сировини	в 100 г кексу
Борошно	25,6	0,11	0,028	0,05	0,013	0,02	0,005	0,02	0,005	67,7	17,33
Цукор білий	19,3	99,85	19,27		0,00		0,00		0,00		0,00

Продовження табл. 5.4

Родзинки	19,2	0,5	0,096			7,3	1,4	0,5	0,096		0,00
Сума	19,394			0,013		1,405		0,101		17,33	
ПГ	$\text{ПГ} = 19,394 \cdot 0,65 + 0,013 \cdot 1,05 + 1,405 \cdot 1 + 0,101 \cdot 0,2 + 17,33 \cdot 0,7 = 26,29 \text{ од.}$										

Таблиця 5.5

Кількісний розрахунок вмісту вуглеводів та показника глікемічності у кексі «Новинка»

№	Вміст, г в 100 г кексу	Вміст вуглеводів											
		сахароза (ГІ=65%)		мальтоза (ГІ=105%)		глюкоза (ГІ=100%)		фруктоза (ГІ=20%)		Крохмаль (ГІ=70%)		резистентний крохмаль (ГІ=0%)	
		в 100 г сировини	в 100 г кексу, 10 ²	в 100 г сировини, 10 ²	в 100 г кексу	в 100 г сировини, 10	в 100 г кексу	в 100 г сировини	в 100 г кексу, 10 ³	в 100 г сировини	в 100 г кексу	в 100 г сировини	в 100 г кексу
1	17,92	0,11	1,97	5	8,9 · 10 ³	0,2	3,6 · 10 ³	0,02	3,66	67,7	12,13		0,00
2	7,68		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	100	7,68
3	19,3	99,85	19,27		0,00		0,00		0,00		0,00		
4	19,2	0,5	0,096		0,00	73	1,4	0,5	96,0		0,00		
Сума		19,386		0,0089		0,4036		0,0996		12,13		7,68	
$\text{ПГ} = 19,386 \cdot 0,65 + 0,0089 \cdot 1,05 + 0,4036 \cdot 1 + 0,0996 \cdot 0,2 + 12,13 \cdot 0,7 + 7,68 \cdot 0,0 = 21,5 \text{ од.}$													

В таблиці 5.5 під №1 – борошно пшеничне, №2 – модифікований резистентний крохмаль, №3 – цукор білий, №4 – родзинки.

Нами було розраховано калорійність кексу «Столичного» і кексу «Новинка». Калорійність резистентного крохмалю становить 1,7 ккал на 1 г, тобто 170 ккал на 100 г [173].

Таблиця 5.6

Калорійність інгредієнтів, які входять до складу кексу «Столичний»

Найменування сировини	Кількість калорій у 100 г, ккал	Кількість сировини, г	Кількість калорій у виробі, ккал
Борошно пшеничне вищого гатунку	364	25,6	93,18
Цукор	374	19,3	71,18
Маргарин	717	19,2	197,66
Сіль	0	0,0077	0
Родзинки	299	19,2	57,41
Есенція	0	0,0077	0
Амоній вуглекислий	0	0,079	0
Всього			419,43

Таблиця 5.7

Калорійність інгредієнтів, які входять до складу кексу «Новинка»

Найменування сировини	Кількість калорій у 100 г, ккал	Кількість сировини, г	Кількість калорій у виробі, ккал
Борошно пшеничне вищого гатунку	364	17,92	65,22
Модифікований РК	170	7,68	13,05
Цукор	374	19,3	71,18
Маргарин	717	19,2	197,66
Сіль	0	0,0077	0
Родзинки	299	19,2	57,41
Есенція	0	0,0077	0
Амоній вуглекислий	0	0,079	0
Всього			378,42

Розрахунки показали, що з додаванням до рецептури модифікованого РК знижується показник глікемічності і калорійність кексу. Показник глікемічності зменшується на 4,79 од., а калорійність на 41,01 ккал.

Згідно досліджень, позитивний вплив на організм виявляє споживання резистентного крохмалю у кількості 30 г на день [174]. Таким чином, споживання одного кексу, масою 100 г, на добу задовольняє добову потребу у резистентному крохмалі на 24,6 %.

5.1.2 Вивчення можливості заміни частини борошна на забагачений стевією і кверцетином резистентний крохмаль у рецептурі кексів

Пошук природних замінників цукру зумовлений як необхідністю знизити вживання цукру у харчуванні здорових людей, так і необхідністю вирішення питань раціонального харчування людей, які мають захворювання, пов'язані з надмірним споживанням цукру, або не можуть його споживати через цукровий діабет. Серед рослин, що мають у своєму складі солодкі речовини, зацікавленість науковців викликає стевія – *Stevia rebaudiana* Bertoni, батьківщина якої Південна Америка, Парагвай [175, 176].

У нативній формі стевія солодша за цукор приблизно в 15—20 разів. Це пояснюється наявністю в її хімічному складі комплексу дитерпенових глікозидів. Еквівалент солодкості суми дитерпенових глікозидів, які містяться в листях стевії й отримали назву «стевіозиди», в середньому складає 300 од [177]. Стевіозид (E960) – природний підсолоджувач не вуглеводної природи.

Основні переваги дитерпенових глікозидів: солодкий смак, практично нульова енергетична цінність, стійкість при нагріванні та довготривалому зберіганні, вплив кислот і лугів, незасвоєння мікроорганізмами, добра розчинність у воді, невелике дозування, нешкідливість при довготривалому вживанні, участь у процесі обміну речовин без застосування інсуліну, оскільки вони нормалізують рівень глюкози в крові [178].

Стевіозид не вступає в реакції меланоїдиноутворення і не викликає потемніння продукту. Він також не піддається бродінню мікроорганізмами, підкреслює ароматичні властивості сировини, допомагає в утворенні насиченого смаку в продукті. Саме тому, екстракт стевії широко використовують у виробництві різних харчових продуктів [179].

Проте, незважаючи на ряд вагомих переваг та високу солодкість, екстракти стевії мають специфічний гіркий присмак, через що при застосуванні їх у виробництві продуктів харчування виробник стикається з проблемою його маскуванню [180]. Вирішенням цієї може бути інкапсулювання розчину стевії у матрицю пористого модифікованого крохмалю.

До рецептурного складу кексу додавали картопляний резистентний крохмаль, отриманий з клейстеру концентрацією 5-%, що збагачувався кверцетином і стевією. Готували зразки пористого крохмалю з інкапсульованим кверцетином, при цьому змішували розчин кверцетину концентрацією 1 % з 5 %- м крохмальним клейстером. Аналогічно готували зразки пористого крохмалю зі стевією, додаючи до клейстеру розчини стевії концентрацією 1, 3, 5 %. Системи з інкапсульованими БАР піддавали заморожуванню-відтаванню з подальшим зневодненням та висушуванням (див. п.2.3.1).

Для дослідження у якості базової рецептури було взято рецептуру кексу «Столичний», у якій для заміни цукру було використано два види пористого резистентного крохмалю у співвідношенні 1:1 – з інкапсульованими кверцетином і стевією.

Таблиця 5.8

Рецептури кексів

Інгредієнт, г	Кекс контроль	Кекс зразок 1	Кекс зразок 2	Кекс зразок 3
Борошно пшеничне	25,6	25,6	25,6	25,6
РК збагачений кверцетином	–	9,65	9,65	9,65
РК збагачений 1% р-н стевії 3% р-н стевії 5% р-н стевії		9,65	9,65	9,65
Цукор	19,3	–	–	–
Маргарин	19,2	19,2	19,2	19,2
Сіль	0,077	0,077	0,077	0,077
Родзинки	19,2	19,2	19,2	19,2
Есенція	0,077	0,077	0,077	0,077
Амоній вуглекислий	0,079	0,079	0,079	0,079
Вихід в сухих речовинах	83,5	83,5	83,5	83,5
Вихід в натурі, г	100	100	100	100

Органолептичні показники досліджуваних зразків кексів було визначено шляхом дегустації з бальною оцінкою за сумою органолептичних показників.

Було розроблено 30-бальну шкалу органолептичної оцінки якості кексів на основі оцінювання коефіцієнтів значущості органолептичних показників. Вона представлена в табл. 5.9.

Таблиця 5.9

Результати оцінювання органолептичних показників кексів за 30-бальною шкалою

Показник	Коефіцієнт значущості	Максимальна сума балів з урахуванням коефіцієнтів значущості
Форма	1	5
Стан поверхні	0,5	5/2,5
Колір скоринки	1	5
Структура пористості	0,5	5/2,5
Аромат	0,5	5/2,5
Смак	1,5	5/7,5
Розжовування м'якушки	1	5
Усього	–	30

Було побудовано багатокутники якості, на основі оцінок, які були отримані під час сенсорного аналізу готових кексів, та розраховано їх площу.

S=123,25



1) Кекс контроль

S=124,35



2) Кекс зразок 1

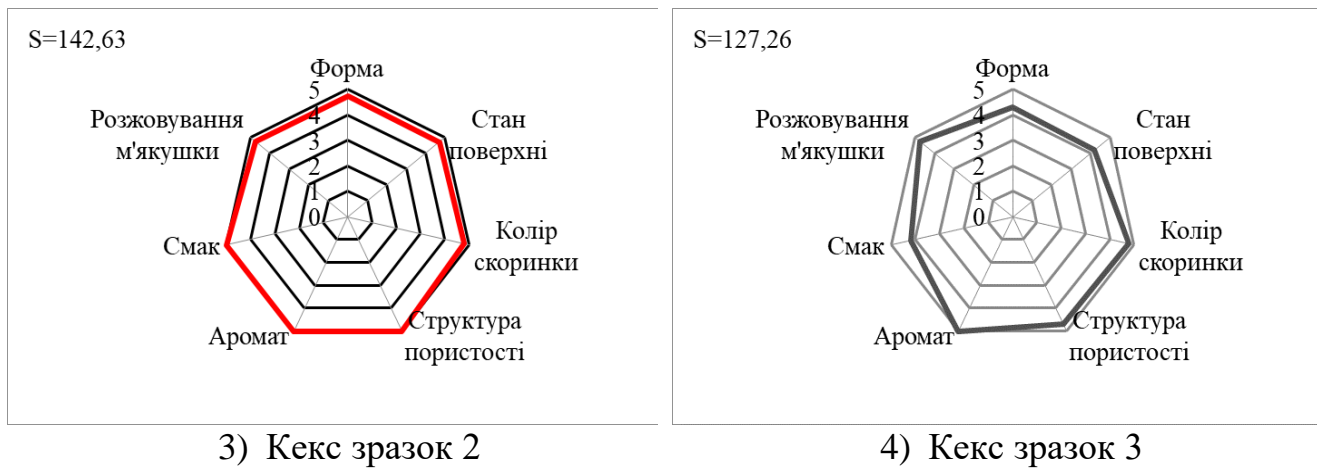


Рис. 5.2. Профілограми якості кексів за базовою рецептурою і з додаванням збагачених модифікованих крохмалів

Якість зразків оцінювали за площею багатокутника якості. Як видно з профілограм, найбільша площа (142,63) багатокутника якості, розрахована для кексу (зразок 2), в якому цукор замінили на зразки збагаченого резистентного крохмалю: один збагачений 3% розчином стевії, а другий – 1%-м розчином кверцетину. Кекс, отриманий за базовою рецептурою, отримав нижчі оцінки і площа багатокутника якості для даного зразка вийшла найменшою – 123,25, що не сильно відрізняється від кексу (зразок 3), де у крохмаль було інкапсульовано кількісно більше екстракту стевії.

На основі отриманих даних робимо висновок, що заміна цукру на збагачений пористий крохмаль, для приготування якого використовували розчини стевії концентрацією 1 і 5%, негативно впливає на смак кексу, оскільки, в першому випадку він не має солодкості, а в другому – стає надто солодким і має гіркий присмак, що є характерним для стевії.

5.2. Розроблення рецептури низькокалорійного майонезного соусу для спеціального дієтичного споживання з використанням пористого крохмалю збагаченого кверцетином

Різноманіття смаків світової кулінарії створюється за допомогою соусів. Соуси мають сприятливу дію щодо засвоєння харчових нутрієнтів організмом

людини, розширюють асортимент продукції і підвищують поживну цінність страв [181]. Саме тому, ми поставили задачу – випробувати пористий крохмаль з інкапсульованим кверцетином у технології майонезу і розробити рецептуру низькокалорійного майонезу підвищеної біологічної цінності.

Соуси-майонези – це соуси холодного приготування, для яких використовують олію. Олія є важливим джерелом ненасичених жирних кислот, які відіграють важливу роль у харчуванні людини. Проте, на сьогодні переважною є тенденція до зменшення кількості жиру в раціоні людини, оскільки надлишок жирів може викликати порушення процесів травлення.

З метою коригування насиченого вершкового смаку і часткової заміни жирів при виготовленні низькожирного майонезу використовують гідроколоїди – імітатори жиру. До цієї групи речовин відносяться і модифіковані крохмалі, які мають властивості емульгаторів, наповнювачів, згущувачів. Такий ефект зазвичай досягається при необхідній концентрації крохмалю у воді. Введення в традиційну рецептуру майонезної продукції інгредієнтів натурального рослинного походження дає можливість розширити асортимент і рекомендувати її до вживання різним групам населення [182].

Одним з сучасних напрямів для створення харчової продукції оздоровчо-профілактичного призначення є виключення з раціону алергенів, білків тваринного походження. Два основних компоненти майонезного соусу – яйця і олія. Яйця є найпоширенішими алергенами, що часто можуть викликати негативну реакцію організму дітей. Для людей, які дотримуються вегетаріанського харчування є важливим уникнути використання яєць [183]. Саме тому, актуальним є розроблення технології майонезного соусу на рослинній сировині.

Для розширення асортименту структурованої продукції для спеціального дієтичного призначення – соусів, кремів – перспективним є використання сировини рослинного походження, яку Україна вирощує у великій кількості, а саме бобові культури, такі як нут, горох, квасоля. Відвар бобових називають «аквафабою» (латиною «aqua» — вода, «faba» — боби) і використовують у кулінарній практиці, оскільки він має властивості емульгатора і стабілізатора піни зі може

використовуватися замість яєчного білка [184]. Пояснюються такі властивості аквафаби тим, що у відвар переходять білкові речовини, полісахариди крохмалю, а також цукри та інші органічні речовини.

Виходячи з об'ємів споживання, актуальним є завдання створення інноваційних видів майонезного соусу, що будуть володіти новими споживчими властивостями, у тому числі, збагаченої продукції, що дозволить зменшити дефіцит у особливо цінних нутрієнтах [185].

В Україні сегмент низькокалорійних емульсійних продуктів представлений, здебільшого, майонезами й соусами до складу яких входять пряно-ароматичні добавки, спеції, зелень тощо. У світовій практиці поширені дослідження щодо пошуку інноваційних рішень для створення технологій майонезу, збагаченого біологічно активними речовинами рослинної сировини [181, 186-190]. Емульсійні жирові продукти (зокрема, майонези та соуси), збагачені біологічно активними речовинами, на ринку України відсутні. Саме тому, поставлене завдання з розроблення технології низькокалорійного майонезного соусу на основі аквафаби і модифікованого резистентного крохмалю збагаченого кверцетином є актуальним.

5.2.1. Дослідження і обґрунтування рецептурного складу низькокалорійного майонезного соусу з використанням пористого крохмалю, збагаченого кверцетином

Крім традиційних компонентів у своєму складі майонези містять стабілізатори, емульгатори, структуроутворювачі, а також смакові, функціональні та інші харчові добавки. Це дозволяє надати майонезу різного смаку, аромату, підвищити харчову та фізіологічну цінність і дозволити створити великий асортимент цих продуктів [191].

В якості основного емульгуючого компонента у майонезних соусх використовується яєчний порошок, який являє собою білково-фосфоліпідний комплекс. Яєчний жовток є основою емульсії і має вплив на її стійкість, консистенцію, колір і смак готового продукту [192]. Вміст яєчних продуктів в майонезі може коливатися від 2 до 6 %, залежно від рецептури [193].

До емульгаторів, що традиційно використовуються в рецептурах майонезу, відноситься знежирене молоко та концентрат сироватковий білковий, а також рослинні білки, найчастіше соєві, що можуть замінити яечний порошок при виробництві майонезу і салатних приправ пониженої калорійності [194-195].

На сьогодні альтернативою яєчного білка є «аквафаба», оскільки може імітувати властивості яєчного білка, молочних продуктів і використовується як рослинний емульгатор у багатьох хлібобулочних виробках. Смак страв, що були приготовлені з використанням аквафаби, не можна відрізнити від тих, де використовували яєчні продукти [196].

Аквафаба – рідина, що залишається від варіння нуту або квасолі. Подібно до яєчного білка аквафаба після збивання може утворювати стабільну піну, яка довго не осідає, а тому вона підходить для приготування, наприклад, безе меренги, морозива, майонезу тощо [197].

До складу насіння і плодів бобових культур входить в основному крохмаль, який відноситься до високоамілозного типу, білки (альбуміни і глобуліни), сахароза, клітковина і вода. Типовий поживний склад нуту: 19 % білка, 61 % вуглеводів, 6 % ліпідів і 14 % води. В процесі відварювання бобових крохмаль в плодах клейстеризується і частково переходить в рідину. Після того, як бобові були відварені, їх відокремлюють від рідкої фази. Отримана рідина, що містить водорозчинні речовини бобових, залишається. Саме вона називається аквафабою. Цю рідину можна заморожувати і зберігати тривалий час. За нормальних умов приблизно 5% складу бобів переходить у рідину. Відомо, що ізолят квасолі має високу жирутримувальну здатність [198].

З аналізу літературних джерел відомо, що білки квасолі представлені глобулінами (солерозчинні білки) – близько 55 %; альбумінами (водорозчинні) – близько 19 %; глютелінами (не розчинні у воді) – близько 18 %. Фракція проламінів відсутня [199]. Крім того, відомо [200], що крохмальні зерна бобових містять значну кількість амілози – лінійної фракції полісахаридів крохмалю – що певною мірою зумовлює структуроутворювальні властивості аквафаби.

Білки білої квасолі відрізняються високим вмістом таких незаміених

амінокислот як лейцин – 17, 4 г/100 г, лізин – 15,9 г/100 г, фенілаланін + тирозин – 11,3 г/100 г, валін – 11,2 г/100 г.

Крім того, біла квасоля багата на макро- і мікроелементи: 100 г задовольняє добову потребу у калії на 22-44%, магнії на 20-34 %, фосфорі – на 45%, кальції – на 13 %, а серед мікроелементів 100 г квасолі найбільше задовольняє добову потребу у залізі – 30-59 %; марганцю – 67%; міді – 58 %; молібдену – до 50 % і цинку – 29-32%. Також квасоля багата на вітаміни групи В і токоферол (Е) [202].

Для утворення стійкої емульсії при зменшенні вмісту жиру до складу рецептур вводять стабілізатори, які забезпечують стійкість та запобігають розшаруванню емульсії. Вони сприяють підвищенню в'язкості дисперсійного середовища і запобігають явищу коацервації олії [203]. При виготовленні низькожирних майонезів для часткової заміни жирів широко використовуються модифіковані види крохмалю [204].

Крім забезпечення стабільних реологічних характеристик емульсійного соусу модифікований крохмаль може бути носієм для біологічно активних речовин. Відомо, що отриманий шляхом заморожування крохмальних драглів пористий крохмаль, має високорозвинену поверхню і містить пори різного розміру [205-206]. Такий вид крохмалю подібний до мікрокапсули, що може вміщувати і забезпечувати захист біологічно активних речовин.

5.2.2. Дослідження стійкості емульсійної системи на аквафабі

Стійкість емульсії – умовна одиниця, що показує % незруйнованої емульсії, яка залишилася після досліджень проведених на стійкість – визначали згідно з затвердженою методикою (ГОСТ 30004.2).

На основі аналізу літературних джерел і власних досліджень щодо технології резистентного модифікованого крохмалю (РМК) збагаченого кверцетином, було поставлено наступну задачу: поєднати при розробленні емульсійного продукту РМК і аквафабу у якості основи і експериментально визначити кількість олії і умови стійкості емульсії в часі.

Проведені дослідження стійкості емульсії дозволяють встановити, що зі

збільшенням вмісту олії стійкість емульсії збільшується (рис. 5.3). Так за вмісту аквафаби 40...60% та вмісту олії 60% стійкість емульсії складає $98 \pm 2\%$ що відповідає вимогам нормативної документації щодо майонезів.

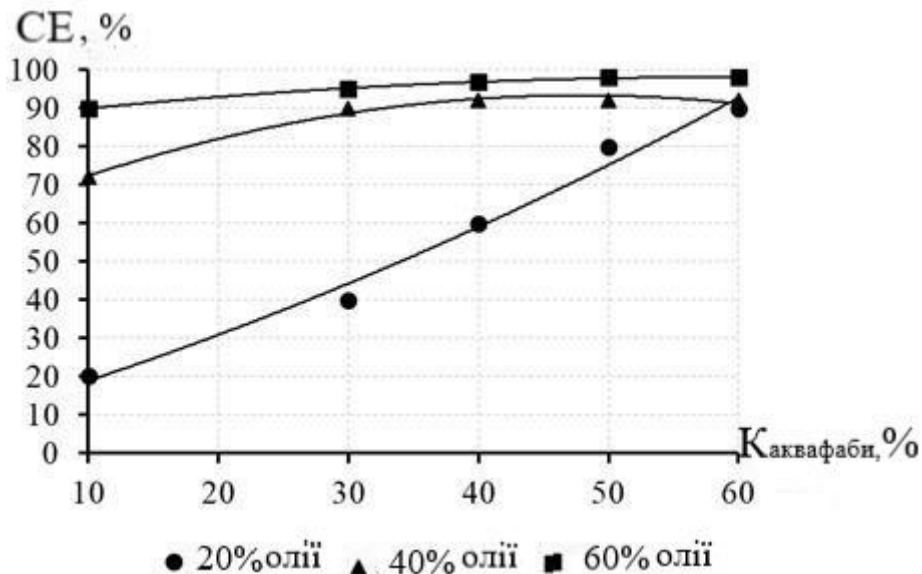


Рис. 5.3. Стійкість емульсії залежно від вмісту аквафаби та соняшникової олії, %

Слід відмітити, що в системах із вмістом олії та аквафаби 40...60% стійкість емульсії практично не змінюється, хоча в'язкість системи в даному діапазоні збільшується. На основі аналізу значень емульгувальної ємності та стійкості емульсій можна рекомендувати раціональне співвідношення компонентів для одержання соусів емульсійного типу AQUAFABA: 60:40.

Згідно інноваційної технології виробництва майонезних соусів нового покоління у якості емульгатора до рецептури включено соняшкову олію і аквафабу, а у якості стабілізатора і структуроутворювача – модифікований резистентний крохмаль з інкапсульованим кверцетином.

Принциповою технологічною схемою виробництва соусу емульсійного типу передбачено додавання олії рослинної до суміші диспергованої аквафаби з МРК, взятих у співвідношенні 60 : 40 і проведення процесу емульгування зі швидкістю 0,1мл/с за 17...20 °С при обертанні робочого органу мішалки 500с^{-1} протягом $(1,1...1,2) \times 60\text{с}$ (лабораторна верхньопривідна мішалка ULAB US-2000A) з метою запобігання розшаруванню (рис. 5.4).

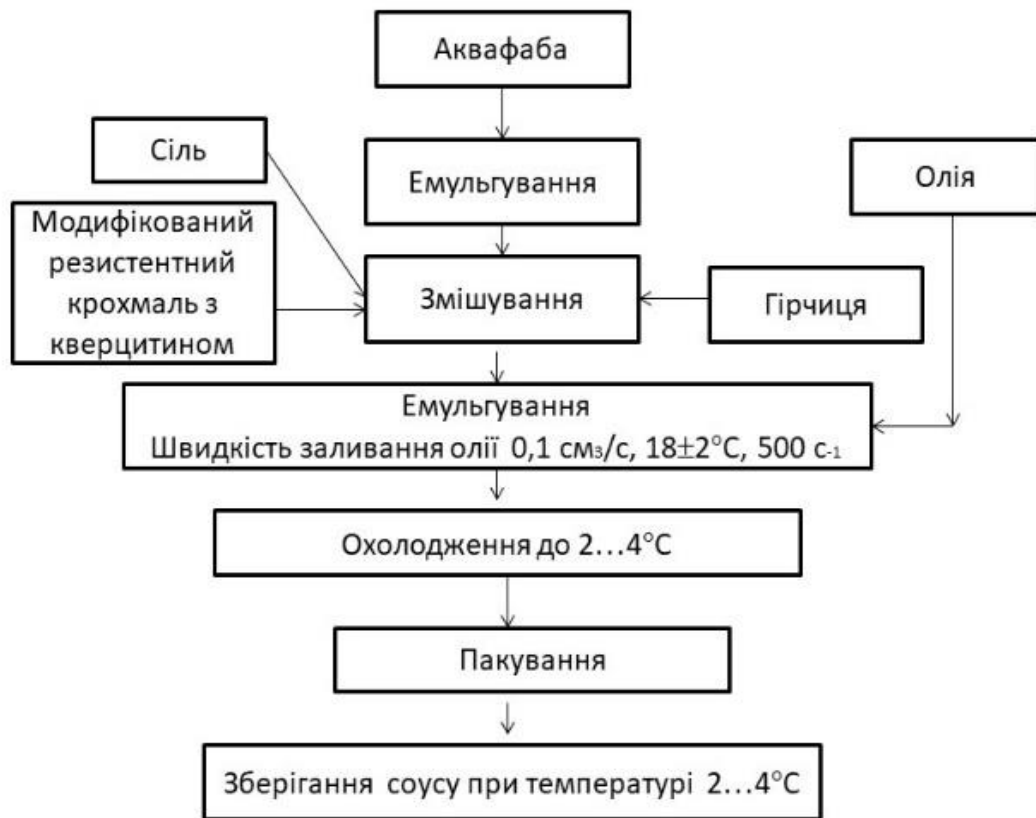


Рис. 5.4. Принципова технологічна схема виробництва низькокалорійного майонезного соусу

На основі проведених досліджень розроблено рецептуру соусу «AQUAFABA» на МРК і відварі білої квасолі, яка наведена в табл. 5.10.

Таблиця 5.10

Рецептурний склад емульсійного соусу «AQUAFABA»

Назва компонентів	Рецептурний склад соусу	
	Брутто	Нетто
Олія соняшникова рафінована дезодорована	50	50
МРК	5	5
Відвар бобових	40	40
Гірчиця	5	5
Сіль	0,5	0,5
Вихід	-	100

Розроблений емульсійний соус дає можливість рекомендувати його до різних страв, зокрема, до салатів та білого м'яса.

5.2.3. Вивчення показників якості розробленого низькокалорійного майонезного соусу

Отриманий низьколактозний соус емульсійного типу характеризується комплексом показників якості, серед яких найвагомішими є харчова та біологічна цінність.

Вміст основних харчових речовин і енергетичну цінність соусу емульсійного типу порівняли з контрольним зразком класичного майонезного соусу жирністю 40 % (табл. 5.11).

Таблиця 5.11

Хімічний склад та енергетична цінність соусу в г/100г продукту

Показник	Одиниця вимірювання	Соус	
		Контроль	«AQUAFABA»
Масова частка:	г/100 г продукту		
- вологи		22.0	25.0
- золи		1.5	3.36
- білків		2.9	5.7
- жирів		68.0	40.0
- вуглеводів		3.7	22.0
Енергетична цінність	Ккал	632.0	345

Розроблений майонезний соус характеризується підвищеним вмістом білків і мінеральних речовин порівняно з контролем. Майже в 6 разів збільшується кількість вуглеводів за рахунок використання у рецептурі відвару білої квасолі (аквафаби). Вміст жирів навпаки зменшився у 1.7 раза за рахунок зменшення вмісту олії, і, відповідно, енергетична цінність зменшилася у 1.8 рази.

Таблиця 5.12

Амінокислотний склад білків соусів, мг/100 г

Амінокислота	Контроль	Соус «Аквафаба»
<i>Незамінні</i>		
Лейцин	141	318
Валін	89	185
Лізін	116	269
Ізолейцин	87	189
Фенілаланін	67	112
Треонін	84	220
Метіонін	39	52
Триптофан	32	57
<i>Замінні</i>		
Глутамін	204	268
Серин	132	159
Аргінін	117	103
Аспаргін	109	338
Аланін	83	163
Тирозин	67	96
Пролін	65	168
Гліцин	49	76
Гістидин	39	65
Цистин	31	63

За рахунок білків квасолі, майонезний соус «Аквафаба» характеризується збільшенням вмісту майже усіх амінокислот порівняно з контролем, у тому числі незамінних. Зокрема, приблизно в 2 рази збільшився вміст лейцину, лізину, валіну та ізолейцину, проліну, а вміст аспарагіну – навіть у 3 рази. Відзначено незначне зниження вмісту аргініну. В цілому змінилося співвідношення між амінокислотами, що пояснюється наявністю в складі соусу білків лише рослинного походження.

Майонезний соус за рахунок використання аквафаби характеризується підвищеним вмістом вітамінів: С, А, групи В, Р (біофлавоноїдів); мінеральних речовин – К, Са, Mg, Р [207]. За нашими підрахунками, в 100 г майонезного соусу «Аквафаба» міститься близько 400 мг флавонолу кверцетину за рахунок введення його в рецептуру з пористим крохмалем. Враховуючи рекомендацію споживати від

500 до 1000 мг кверцетину на добу з профілактичною метою, вживання низькокалорійного майонезного соусу сприятиме забезпеченню добової потреби в цьому вітаміні.

Резистентний крохмаль класифікується як новий тип харчових волокон. Його присутність надає продуктам нових функціональних властивостей: підвищує відчуття ситості, пригнічує голод, що запобігає надмірному споживанню їжі та знижує ризик ожиріння. Отримані дані підтверджують, що використання аквафаби та пористого крохмалю з кверцетином в основі емульсійних соусів сприяє збагаченню кінцевого продукту рослинними білками, незамінними амінокислотами, вуглеводами, вітамінами та мінеральними елементами.

Таблиця 5.13

Ступінь задоволення (СЗ) добової потреби організму в основних харчових речовинах ($P \leq 0,05$)

Харчові речовини	Добова потреба	Контроль	
		СЗ, %	Емульсійний соус
		СЗ, %	СЗ, %
Білки, г	76,0	3,7	4,9
Жири, г	56,0	119,6	107,1
Вуглеводи, г	219,0	1,7	10,0
Харчові волокна, г	20	0,0	1,0
<i>Мінеральні речовини, мг</i>			
Натрій (Na)	1300,0	39,1	23,8
Калій (K)	2500,0	1,5	23,3
Кальцій (Ca)	1000,0	3,3	21,5
Магній (Mg)	400,0	3,3	12,5
Фосфор (P)	800,0	6,8	31,1
Ферум (Fe)	18,0	5,6	2,3
<i>Вітаміни, мг</i>			
Ретинол (A)	0,9	2,2	7,8
β-каротин	5,0	0,0	10,2
Тіамін (B ₁)	1,5	0,7	9,3
Рибофлавін (B ₂)	1,8	2,8	34,4
Холін (B ₄)	500,0	2,9	11,8

Продовження таблиці 5.13

Фолієва кислота (B ₉)	4,0	0,0	131,8
Ціанкобаламін (B ₁₂)	3,0	6,7	20,7
Ніацин (PP)	20,0	2,5	2,4
Аскорбінова кислота (C)	90,0	0,0	2,3
Токоферол (E)	15,0	200,0	215,5

Емульсійний соус на основі МРК та аквафаби відрізняється привабливим зовнішнім виглядом, покращеним кольором в порівнянні з контрольними зразками, збалансованими смаковими та ароматичними показниками, однорідною консистенцією (табл. 5.14).

Таблиця 5.14

Органолептичні характеристики емульсійного соусу «Аквафаба»

Органолептичні показники			
Зовнішній вигляд	Колір	Смак і запах	Консистенція
Густа структурована малотекуча маса, без борошністості та осаду, без розшарування	Світлий кремовий колір рівномірний за всією масою, глянцева поверхня	Чистий, без сторонніх запахів, без вираженого запаху, смак кисло-солонуватий, без сторонніх присмаків	Однорідна консистенція, без розшарування, без осередків кристалізації

Для побудови багатокутників якості використано 5-бальну оцінку інтенсивності окремих ознак кожного показника: 5 – відмінно, 4 – добре, 3 – задовільно, 2 – погано.

Результати органолептичної оцінки якості майонезних соусів представлено в табл. 5.15.

Таблиця 5.15

Органолептична оцінка соусної продукції

Показник	Ознака показника		Середня дегустаційна оцінка за 5-бальною шкалою	
	номер	характеристика	контроль	«Аквафаба»
Зовнішній вигляд	1	Привабливість	4.7	4.8
	2	Однорідність	4.8	4.8
Колір	3	Рівномірність	4.6	4.7
	4	Інтенсивність	4.2	4.3
	5	Натуральність	4.7	4.8
Консистенція	6	Однорідність	4.9	4.9
	7	Густина	4.6	4.7
	8	Здатність тримати форму	4.7	4.8
Запах	9	Виразність	4.6	4.7
	10	Чистота	4.5	4.6
Смак	11	Збалансованість	4.7	4.9
	12	Натуральність	4.6	4.8
	13	Виразність	4.5	4.7

Органолептичний профіль емульсійного соусу «AQUAFABA» та контрольного низькокалорійного майонезу представлено на рис. 5.5.

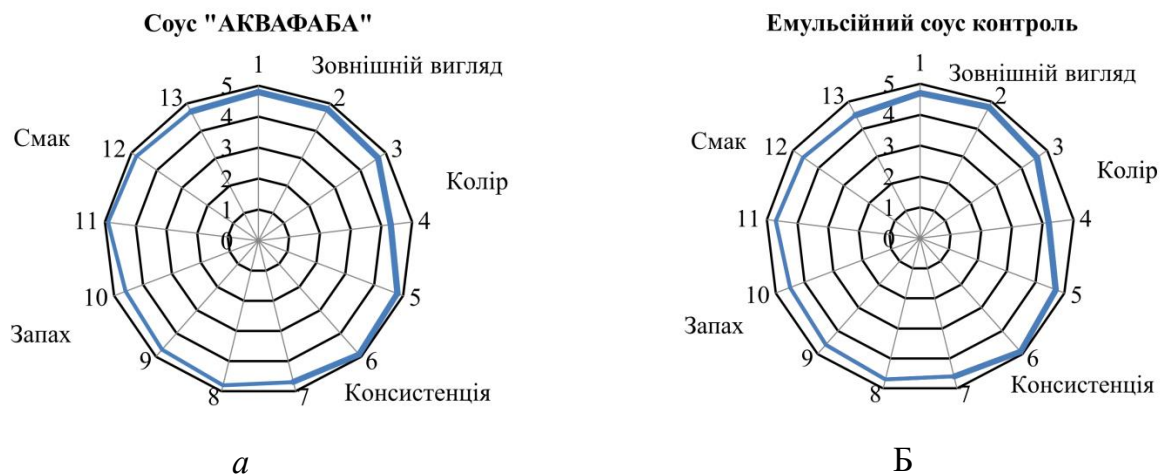


Рис. 5.5. Органолептичний профіль: *a* – соус «Аквафаба» ($S = 268.36$ бал²);
б – контроль ($S = 245.08$ бал²)

З аналізу профілограм (рис. 5.5) видно, що набір визначальних характеристик органолептичних показників є більш збалансованим у низькокалорійного

майонезного соусу за розробленою технологією в порівнянні із контролем.

Розроблено ресурсозберігаючу технологію низькокалорійного майонезного соусу підвищеної біологічної цінності із заміною яєчних білків на аквафабу – відвар білої квасолі та з додаванням резистентного пористого крохмалю з кверцетином. Обґрунтовано раціональне співвідношення аквафаби та рослинної олії як (40–.60) : 40, що дає змогу отримати емульсійні системи зі стабільністю $97 \pm 2 \%$.

Розроблено рецептуру емульсійного низькокалорійного соусу «Аквафаба», який характеризується підвищеним вмістом білків, мінеральних речовин, порівняно з контролем. Майже в 6 разів збільшилася кількість вуглеводів за рахунок вживання відвару білої квасолі (аквафаби) і пористого крохмалю з кверцетином. Жирність і енергетична цінність зменшилися майже вдвічі за рахунок зменшення вмісту олії.

За органолептичною оцінкою якості соусу «Аквафаба» встановлено, що сукупність визначальних характеристик показників більш збалансована в ньому порівняно з контролем.

Соціальний ефект від впровадження розробленої технології низькокалорійного майонезного соусу полягає в забезпеченні населення продуктом щоденного вживання підвищеної біологічної цінності.

5.3. Розроблення рецептури безалкогольного напою з використанням рідкого цукрозамінника на основі стевії та мальтозного сиропу

Для розроблення складу комплексного цукрозамінника і рецептури безалкогольного напою із комплексним цукрозамінником використовували базову рецептуру напою наведену у таблиці 5.16.

Таблиця 5.16

Рецептура безалкогольного напою «Яблуко-лимон-м'ята»

Компонент рецептури	Кількість речовини на 1000 мл напою, г
Цукор білий	90,5
Яблучний сік концентрований	10
Лимонний сік концентрований	3
Лимонна кислота	2,11
Аскорбінова кислота	0,1
Ароматизатор натуральний «яблуко»	0,3
Ароматизатор натуральний «м'ята»	0,6
Вода пом'якшена	893,39

На основі рецептури напою «Яблуко-лимон-м'ята» (табл. 5.16) за коефіцієнтами солодкості речовин було розраховано необхідне співвідношення екстракту стевії та мальтозного сиропу для заміни цукру у рецептурі напою.

Приготування зразків комплексного цукрозамінника.

Для дослідження органолептичних показників напоїв цукрозамінник готували змішуванням екстракту стевії і мальтозного сиропу згідно таблиці 4.8. Суміш обох речовин в різних пропорціях дає можливість підібрати оптимальну солодкість для будь-якого продукту. До наважки мальтозного сиропу приливали ту кількість екстракту стевії, що була розрахована для заміни 90,5 г сахарози (згідно базової рецептури) за коефіцієнтами солодкості.

Приготування напоїв із комплексним цукрозамінником.

Готували п'ять зразків безалкогольних напоїв за базовою рецептурою (табл. 5.16) із повною заміною цукру на комплексний цукрозамінник, що має різне співвідношенням екстракту стевії і мальтозного сиропу (табл. 4.8). Оскільки для безалкогольних напоїв регламентований вміст сухих речовин знаходиться у межах 10,7...11,2 % (10,7 % для напою «Coca-Cola», 11,2 % – «Живчик»), відповідного вмісту сухих речовин досягали за рахунок заміни цукру мальтозним сиропом.

За еталон було взято напій із цукром за базовою рецептурою (табл. 5.16), також для порівняння ми приготували напій із повною заміною цукру на екстракт

стевії. Органолептичну оцінку якості приготованих напоїв проводили методом сенсорного аналізу із залученням групи дегустаторів.

Органолептичну оцінку отриманих дослідних зразків проводили за показниками представленими в таблиці 5.17.

Таблиця 5.17

Балова оцінка безалкогольних напоїв

Показник якості	Органолептична характеристика безалкогольних напоїв	Балова оцінка
Прозорість, зовнішній вигляд	1. Прозорий, з блиском	5 /відмінно/
	2. Прозорий, без блиску	4 /добре/
	3. Володіють слабкою опалесценцією	3 /задовільно/
	4. Проявляють сильну опалесценцію	2 /незадовільно/
	5. Непрозорі напої з м'якоттю, колір яких відповідає даному виду напою	7 /відмінно/
Колір	1. З яскраво вираженим кольором, що відповідає кольору плодів, з яких вироблений напій, або таким, що характерний для даного виду напою	6 /відмінно/
	2. З достатньо вираженим кольором, що відповідає кольору плодів, з яких вироблено напій, або таким, що характерний для даного виду напою	5 /добре/
	3. Колір менш виражений, відповідає кольору плодів, з яких вироблено напій, або таким, що характерний для даного виду напою	4 /задовільно/
	4. Колір не відповідає назві напою	2 /незадовільно/
	5. Непрозорі напої з м'якоттю, колір яких відповідає даному виду напою	7 /відмінно/
Смак	6. Характерний повний смак, що яскраво виражений і відповідає даному напою	7 /відмінно/
	7. Хороший смак, який відповідає даному напою	5 /добре/
	8. Слабкий аромат, але такий, що відповідає даному напою	4 /задовільно/
	9. Сторонні ноти у ароматі, що не відповідають даному напою	2 /незадовільно/
Аромат	1. Характерний аромат, що яскраво виражений і відповідає даному напою	7 /відмінно/
	2. Хороший аромат, який відповідає даному напою	5 /добре/
	3. Недостатньо виражений смак, але такий, що відповідає даному напою	4 /задовільно/
	4. Погано виражений смак, що не відповідають даному напою	2 /незадовільно/

На основі оцінок, отриманих під час сенсорного аналізу готових безалкогольних напоїв із комплексним підсолоджувачем було побудовано зведену таблицю середніх оцінок кожного зразку.

Порівняння і оптимізацію органолептичних властивостей напоїв з комплексним цукрозамінником здійснювали за допомогою побудови багатокутника якості.

На базі оцінок отриманих під час сенсорного аналізу готових безалкогольних напоїв із підсолоджувачем згідно таблиці 5.17 було побудовано зведену таблицю середніх оцінок кожного зразку (табл. 5.18).

Таблиця 5.18

Усереднені оцінки показників якості безалкогольних напоїв приготованих із цукрозамінником стевія-мальтозний сироп

Номер зразка	Назва показника			
	Колір	Прозорість	Смак	Аромат
1	3,71	4,29	5,14	5,00
2	4,71	5,00	5,57	5,71
3	5,29	4,86	6,57	6,86
4	5,29	5,14	5,71	5,86
5	3,86	3,86	4,71	5,00
6 (контроль)	3,86	3,00	3,57	4,00
7 (зі стевією)	3,86	3,14	2,86	3,57

Якість напоїв можна оцінити за площею багатокутників якості, побудованих за даними таблиці 5.18. Найбільшу площу має багатокутник якості зразка номер 3 (рис. 5.6).



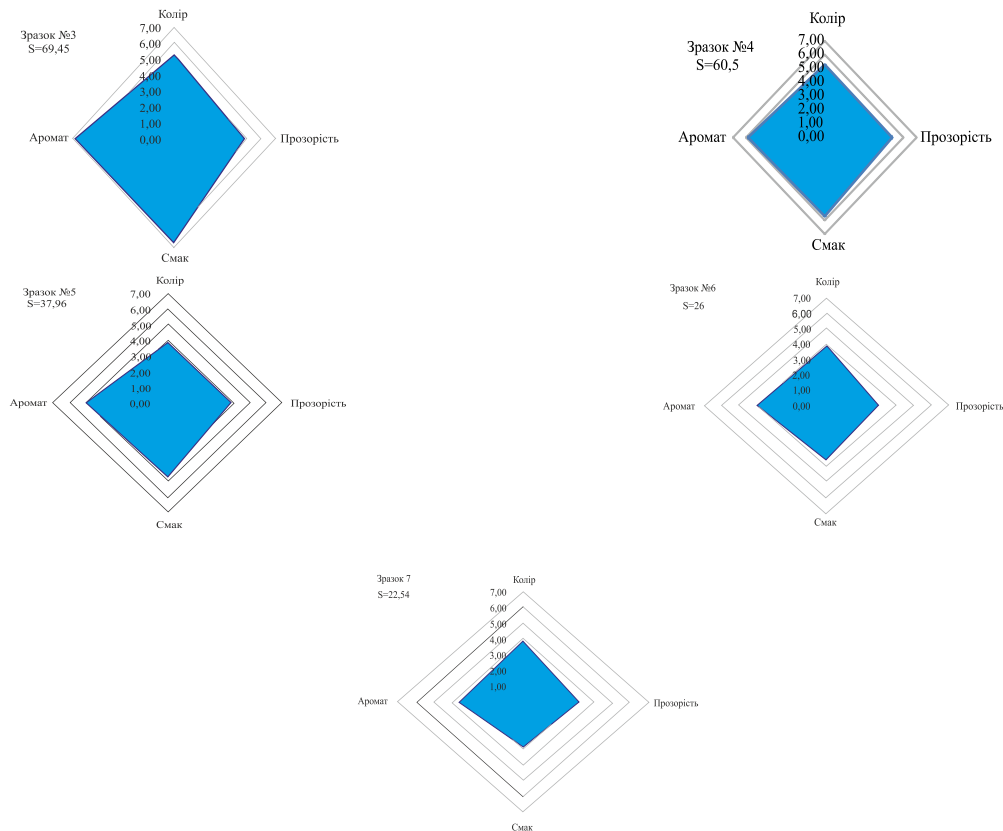


Рис. 5.6. Профілограми якісної оцінки зразків напоїв з комплексним цукрозамінником при різному співвідношенні екстракту стевії і мальтозного сиропу

Таким чином, розроблено рецептурну композицію натурального рідкого цукрозамінника на основі порошкоподібного екстракту стевії і мальтозного сиропу, який пропонується для використання у технології безалкогольних напоїв для спеціального дієтичного споживання. Для приготування цукрозамінника рекомендовано використовувати розчин стевіозиду концентрацією 5% і мальтозний сироп (CP=78%) у співвідношенні, як 1:40. Використання комплексного цукрозамінника для заміни цукру у безалкогольних напоях є доречним і дає можливість розширити асортимент напоїв без цукру для спеціального дієтичного споживання відмінної якості.

Висновок до розділу 5

1. Розроблено рецептуру кексу «Новинка» із заміною 30 % пшеничного борошна на пористий резистентний крохмаль. З отриманих результатів досліджень видно, що з додаванням до рецептури кексів модифікованого резистентного крохмалю покращуються органолептичні показники готових виробів порівняно з кексом «Столичним». Крім того, використання модифікованого РК рецептурі кексу знижує показник глікемічності на 4,79 од., а калорійність виробу – на 41,01 ккал. Споживання одного кексу, масою 100 г, на добу задовольняє добову потребу у резистентному крохмалі на 24,6 %.

2. Розроблено рецептуру кексу із заміною цукру у рецептурі на резистентні види крохмалю з інкапсулюванням кверцетину і стевії, взяті у співвідношенні 1:1: один збагачений 3% розчином стевії, а другий – 1%-м розчином кверцетину, що вводились у 5-% крохмальні клейстери. На основі отриманих даних встановлено, що повна заміна цукру на резистентні крохмалі, збагачені кверцетином і стевією, дозволяє отримати кекси для спеціального дієтичного споживання.

3. Розроблено ресурсозберігаючу технологію низькокалорійного майонезного соусу підвищеної біологічної цінності із заміною яєчних білків на аквафабу – відвар білої квасолі та з додаванням резистентного пористого крохмалю з кверцетином. Обґрунтовано раціональне співвідношення аквафаби та рослинної олії як (40–.60) : 40, що дає змогу отримати емульсійні системи зі стабільністю 97 ± 2 %.

4. Розроблено рецептуру емульсійного низькокалорійного соусу «Аквафаба», який характеризується підвищеним вмістом білків, мінеральних речовин, порівняно з контролем. Жирність і енергетична цінність зменшилися майже вдвічі за рахунок зменшення вмісту олії. За органолептичною оцінкою якості соусу «Аквафаба» встановлено, що сукупність визначальних характеристик показників більш збалансована в ньому порівняно з контролем. Соціальний ефект від впровадження розробленої технології низькокалорійного майонезного соусу

полягає в забезпеченні населення продуктом щоденного вживання підвищеної біологічної цінності.

5. Розроблено рецептурну композицію натурального рідкого цукрозамінника на основі порошкоподібного екстракту стевії і мальтозного сиропу, який пропонується для використання у технології безалкогольних напоїв для спеціального дієтичного споживання. Для приготування цукрозамінника рекомендовано використовувати розчин стевіозиду концентрацією 5% і мальтозний сироп (СР=78%) у співвідношенні, як 1:40. Використання комплексного цукрозамінника для заміни цукру у безалкогольних напоях є доречним і дає можливість розширити асортимент напоїв без цукру для спеціального дієтичного споживання відмінної якості.

Наукові результати даного розділу дисертації висвітлені в роботах [4, 6, 18,23,26]

ВИСНОВКИ

1. На основі аналізу літератури, встановлено, що перспективним напрямком дослідження є розроблення технології і використання модифікованого резистентного крохмалю у якості носія для інкапсулювання біологічно активних речовин з метою їх збереження від дії небажаних чинників у ході приготування харчових продуктів оздоровчого призначення.

2. Розроблено технологію модифікованого крохмалю фізичної модифікації, в основі якої заморожування – відтавання крохмальних клейстерів низьких концентрацій – 5, 10 %. Дослідження внутрішньої структури за допомогою скануючої електронної мікроскопії показало, що, на відміну від нативних крохмалів, модифіковані не мають зернистої структури і являють собою частинки висушеного ретроградованого крохмального клейстеру, що надає крохмалю пористої структури і специфічних властивостей.

3. На підставі дослідження фазової структури різних видів крохмалю встановлено, що зі збільшенням концентрації крохмального клейстеру, який піддавали заморожуванню, зростає ступінь кристалічності пористого крохмалю, причому для картопляного крохмалю ця залежність виражена більше.

4. На основі досліджень сорбційних характеристик модифікованого крохмалю встановлено, що зі збільшенням концентрацій клейстерів з 5 до 20 % як для картопляного, так і для кукурудзяного крохмалів середній діаметр пор зменшується, що означає залежність сорбційних властивостей модифікованого крохмалю від концентрації клейстеру, який піддавали заморожуванню.

5. Встановлено, що гідрофільність модифікованих крохмалів значно перевищує гідрофільність нативних видів крохмалю. Віскографічні дослідження показали, що при зменшенні концентрації картопляного крохмального клейстеру з 10% до 5%, в'язкість суспензії модифікованого крохмалю при нагріванні значно зменшується. Вочевидь, що більше зв'язаної води (незамерзаючої) містить крохмальний клейстер перед заморожуванням, тим менше проходить деструкція полісахаридів крохмалю в циклах заморожування-відтавання.

6. На підставі експериментальних досліджень розроблено принципову і апаратурно-технологічну схеми виробництва пористого крохмалю. Розроблена технологія виробництва модифікованого крохмалю була апробована на підприємстві ПБП «Вимал». Дослідно-промислові випробування розробленої технології підтвердили, що за невисоких капітальних витрат можна налагодити виробництво нового виду модифікованого крохмалю для інкапсулювання біологічно активних речовин.

7. Експериментально встановлено, що модифікований пористий крохмаль придатний для інкапсулювання низькомолекулярних речовин. Кількість аскорбінової кислоти, включеної в структуру крохмалю, залежить від виду крохмалю і концентрації крохмального клейстеру, з якого був приготовлений модифікований крохмаль, проте майже не залежить від концентрації розчину аскорбінової кислоти. Включення аскорбінової кислоти в структуру пористого крохмалю краще відбувається при введенні у крохмальні клейстери низьких концентрацій (5 і 10 %), ніж у концентровані клейстери (15 і 20 %)

8. Розроблено технологію інкапсулювання кверцетину у структуру пористого крохмалю. Фізико-хімічні дослідження отриманого продукту сорбції показали, що між молекулами крохмалю та кверцетину може мати місце хімічна взаємодія за типом хемосорбції. Проведені дослідження показали можливість отримання водорозчинних комплексів кверцетину шляхом його сорбції на пористому крохмалі, що відкриває перспективи створення Р-вітамінних харчових добавок оздоровчої дії.

9. Експериментально встановлено, що кукурудзяний модифікований крохмаль, приготовлений з клейстеру концентрацією 20 % має найбільшу сорбційну здатність по відношенню до тимолу порівняно зі зразками інших концентрацій. Тому, він є технологічно більш перспективним для створення ароматизаторів та смакоароматичних добавок.

10. Отримані результати досліджень показують, що при комбінації етапів заморожування-відтавання внаслідок льодоутворення у клейстерах, відбувається ретроградація крохмальних полісахаридів з утворенням міцної структури, не

доступної до дії амілолітичних ферментів. Перевірка на резистентність показала, що пористий крохмаль виявляє стійкість до ферментативного гідролізу і має властивості резистентного крохмалю третього типу РКЗ.

11. Розроблено спосіб отримання порошкоподібного інкапсульованого екстракту гібіскусу на основі модифікованого набухаючого картопляного крохмалю, який може бути застосований в якості згущувача, підкислювача і барвника в рецептурах харчових концентратів, а наявність в екстракті гібіскусу вітамінів, органічних кислот, флавоноїдів і, особливо, антоціанів, підвищує біологічну цінність готового продукту.

12. Розроблено рецептуру кексу «Новинка» із заміною 30 % пшеничного борошна на пористий резистентний крохмаль. З отриманих результатів досліджень видно, що з додаванням до рецептури кексів модифікованого резистентного крохмалю покращуються органолептичні показники готових виробів порівняно з кексом «Столичним». Крім того, використання модифікованого РК рецептурі кексу знижує показник глікемічності на 4,79 од., а калорійність виробу – на 41,01 ккал. Споживання одного кексу, масою 100 г, на добу задовольняє добову потребу у резистентному крохмалі на 24,6 %.

13. Розроблено рецептуру кексу із заміною цукру у рецептурі на резистентні види крохмалю з інкапсульованням кверцетину і стевії, взяті у співвідношенні 1:1: один збагачений 3% розчином стевії, а другий – 1%-м розчином кверцетину, що вводились у 5%- крохмальні клейстери. На основі отриманих даних встановлено, що повна заміна цукру на резистентні крохмалі, збагачені кверцетином і стевією, дозволяє отримати кекси для спеціального дієтичного споживання.

14. Розроблено ресурсозберігаючу технологію низькокалорійного майонезного соусу підвищеної біологічної цінності із заміною яєчних білків на аквафабу – відвар білої квасолі та з додаванням резистентного пористого крохмалю з кверцетином. Обґрунтовано раціональне співвідношення аквафаби та рослинної олії як (40–60) : 40, що дає змогу отримати емульсійні системи зі стабільністю 97 ± 2 %. Розроблено рецептуру емульсійного низькокалорійного соусу «Аквафаба». Соціальний ефект від впровадження розробленої технології низькокалорійного

майонезного соусу полягає в забезпеченні населення продуктом щоденного вживання підвищеної біологічної цінності.

15. За результатами дисертаційної роботи розроблено проєкт нормативної документації: технічні умови на «Крохмаль модифікований пористий» (ТУ У 15.8-02070938-315:2023), а також технологічну інструкцію на виробництво модифікованого пористого крохмалю. Апробацію технології модифікованого пористого крохмалю було проведено на ПБП «Вимал», кексів функціонального призначення «Новинка» – в умовах ФОП «Кононенко М.В.», низькокалорійного майонезного соусу «AQUAFABA» – в умовах ТОВ «Продсервіс ІР», які підтверджуються відповідними актами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Bashir K., Aggarwal M. Physicochemical, structural and functional properties of native and irradiated starch: a review. *Journal food science technol.* 2019. Vol. 56, № 2. P. 513-523.
2. Ринок крохмалю в Україні: переробка сировини, якої повинно бути більше. URL: <https://pro-consulting.ua/ua/pressroom/rynok-krahmala-v-ukraine-pererobka-syrya-kotoroj-dolzno-byt-pobolshe> (дата звернення: 07.07.2022).
3. Singh N, Isono N, Srichuwong S, Noda T, Nishinari K. Structural, thermal and viscoelastic properties of potato starches. *Food Hydrocolloids.* 2008. Vol. 22, №6. P. 979-988.
4. Bertoft E. Understanding starch structure: recent progress. *Agronomy.* 2017. Vol. 7, №56. P. 1–29.
5. Santana A.L, Meireles M.A.A. New starches are the trend for industry applications: A review. *Food and public health.* 2014. Vol. 4, № 5. P. 229-241.
6. Emeje M. Chemical Properties of starch and its application in the food industry. 2019. doi: 10.5772/intechopen.87777.
7. Cornejo-Ramírez Y. I., Martínez-Cruz O., Toro-Sánchez C. L. D., Wong-Corral F. J., Borboa-Floresand J., Cinco-Moroyoqui F. J. The structural characteristics of starches and their functional properties. *Cyta–journal of food.* 2018. Vol. 16, № 1. P. 1003–1017.
8. Singh J. et al. Starch digestion in food matrix. *Trends in Food Science and Technology.* 2010. № 21. P. 168-180.
9. Gelencsér T., Juhász R., Hódsági M., Gergely S., Salgó A. Comparative study of native and resistant starches. *Acta Alimentaria.* 2008. Vol. 37, № 2. P. 255-270.
10. Kaur B., Ariffin F., Bhat R., Karim A. Progress in Starch Modification in the Last Decade. *Food hyrdocolloids.* 2010. Vol. 26. P. 398-404.
11. Chuwa C., Dhiman A.K., Thakur N.S. Study on modification of native potato starch by various technique. *The pharma innovation journal.* 2021. Vol.10, № 2. P. 538-540.

12. Masina N., Choonara Y. E., Kumar P., Du Toit L. C., Govender M., Indermun S., Pillay V. A review of the chemical modification techniques of starch. *Carbohydrate polymers*. 2017. Vol. 157. P. 1226-1236
13. Krithika P. L., Ratnamala K.V. Modification of starch: a review of various techniques. *International journal of research and analytical reviews*. 2019. Vol. 6, № 1. P. 1-14.
14. Fuentes-Zaragoza E., Riquelme-Navarette M.J., Sanchez-Zapata E. et. al. Resistant starch as functional ingredients: a review. *Food res.int*. 2010. Vol. 43. P. 931-942.
15. Soral-Smietana M., Wronkowska M. Resistant starch – nutrition and biological activity. *Polish journal of food and nutrition science*. 2004. Vol. 13, №54. P. 51-64.
16. Полумбрик М.О. Вуглеводи в харчових продуктах і здоров'я людини. К.: Академперіодика, 2011. 487 с.
17. Mermelstein N. H. Analyzing for resistant starch. *Food technology*. 2009. Vol. 4. P. 80–84.
18. Ratnayake, W. S., Jackson, D. S. Thermal behavior of resistant starches RS 2, RS 3, and RS 4. *Journal of Food Science*. 2008. V. 73, №5, P. 356–366.
19. Shin M., Woo K., Seib P.A. Hot-Water solubilities and water sorptions of resistant starches at 25°C. *Cereal chem*. 2003. Vol. 80. P. 564–566.
20. Raigond P., Ezekiel R., Kaundal B. Starch fractions of cooked potatoes at low temperature. *Potato journal*. 2014. Vol. 41, № 1. P. 58-67.
21. Garcia-Alonso A., Jimenez-Escrig A., Martin-Carron N., Bravo L., Saura-Calixto F. Assessment of some parameters involved in the gelatinization and retrogradation of starch. *Food chem*. 1999. Vol. 66. P. 181-187.
22. Sajilata M.G., Singhal R.S., Kulkarni P.R. Resistant starch - a review. *Compr Rev Food Sci F*. 2006. Vol. 5. P. 1-17.
23. Chou C., Wu M., Nurtama B., Lin J. Effect of different heating treatment and storage time on formation of resistant starch from potato starch. *Kasetsart J (Nat Sci)*. 2010. Vol. 44. P. 935-942.

24. Zeng F., Ma F., Kong F., Gao Q., Yu S. Physicochemical properties and digestibility of hydrothermally treated waxy rice starch. 2015. *Food Chem.* Vol. 172. P. 92-98.
25. Brumovsky J.O., Thompson D.B. Production of boiling-stable granular resistant starch by partial acid hydrolysis and hydrothermal treatments of high- amylose maize starch. *Cereal chem.* 2001. Vol. 78, № 6. P. 680-689
26. Thompson D.B. Strategies for the manufacture of resistant starch. *Trends food sci technol.* 2000. Vol. 11. P. 245-253.
27. Hoover R., Vasanthan T. The effect of annealing on the physicochemical properties of wheat, oat, potato and lentil starches. *Journal food biochem.* 1994. Vol. 17. P. 303-325.
28. Li W., Bai Y., Mousaa S.A.S., Zhang Q., Shen Q. Effect of high hydrostatic pressure on physicochemical and structural properties of rice starch. *Food bioprocess technol.* 2012. Vol. 5. P. 2233-2241.
29. Chung H., Liu Q., Hoover R. Effect of single and dual hydrothermal treatments on the crystalline structure, thermal properties, and nutritional fractions of pea, lentil, and navy bean starches. *Food res int.* 2010. № 43. P. 501–508.
30. Simsek S., Ovando-Martinez M., Whitney K., Bello-Perez L.A. Effect of acetylation, oxidation and annealing on physicochemical properties of bean starch. *Food chem.* 2012. № 134. P. 1796–1803.
31. Dupuis J.H., Liu Q., Yada R.Y. Methodologies for increasing the resistant starch content of food starches: A review. *Compr Rev Food Sci F.* 2014. № 13. P. 1219-1224.
32. Jiranuntakul W., Puttanlek C., Rungsardthong V., Panchaarnon S., Uttapap D. Microstructural and physicochemical properties of heat-moisture treated waxy and normal starches. . *J Food Eng.* 2011. № 104. P. 246–258.
33. Wang Y.J., Kozowski R., Delgado G.A. Enzyme resistant dextrans from high amylose corn mutant starches. *Starch.* 2001. № 53. P. 21–26.

34. Xiaoyue H., Hongsheng L., Yue M., Shihua M., Cheng Li. Effects of extrusion on starch molecular degradation, order–disorder structural transition and digestibility – a review. *Foods*. 2022. Vol. 11. P. 1-18.
35. Agustiniano-Osornio J.C., Gonzalez-Soto R.A., Flores-Huicochea E., Manrique-Quevedo N., Sanchez-Hernandez L., Bello-Perez L.A. Resistant starch production from mango starch using a single-screw extruder. *J Sci Food Agri*. 2005. Vol. 85. P. 2105-2110.
36. Hasjim J., Jane J. Production of resistant starch by extrusion cooking of acid-modified normal-maize starch *J Food Sci*. 2009. Vol. 74, №7. P. 556–562.
37. Bello-Perez L.A., Paredes-Lopez O. Starches of some food crops, changes during processing and their nutraceutical potential. *Food Eng Rev*. 2009. № 1. P. 50-65.
38. Chanvrier H., Thayakumaran S., Appelqvist I.A.M., Gidley M.J., Gilbert E.P., Lopez-Rubio A. Influence of storage conditions on the structure, thermal behaviour and formation of enzyme resistant starch in extruded starches. *J Agric Food Chem*. 2007. № 55. P. 9883–9890.
39. Alsaffar A.A. Effect of food processing on the resistant starch content of cereals and cereal products-a review. *Int J of Food Sci Tech*. 2011. № 46. P. 455-462.
40. Granular RS and method of making. U.S. Patent 58. 49. 090. 1998.
41. Zhang H., Jin Z. Preparation of resistant starch by hydrolysis of maize starch with pullulanase. *Carbohydr Polym*. 2011. № 8. P. 865–867.
42. Reddy C.K., Suriya M., Haripriya S. Physico-chemical and functional properties of Resistant starch prepared from red kidney beans (*Phaseolus vulgaris*. L) starch by enzymatic method. *Carbohydr Polym*. 2013. № 95. P. 220–226.
43. Kahraman K., Koksel H., Ng P.K.W. Optimisation of the reaction conditions for the production of cross-linked starch with high resistant starch content. *Food Chem*. 2015. Vol. 174. P. 173-179.
44. Acquarone V.M., Rao M.A. Influence of sucrose on the rheology and granule size of cross-linked waxy maize starch dispersions heated at two temperatures. *Carbohydr Polym*. 2003. № 51. P. 451–458.

45. Singh J., Kaur L., McCarthy O.J. Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications – A review. *Food Hydrocolloids*. 2007. № 21. P. 1–22.

46. Food grade starch resistant to alpha-amylase and method of preparing the same. US Patent No. 5.855.946. 1999.

47. Woo K., Seib P.A. Cross-linked resistant starch: Preparation and properties. *Cereal Chem*. 2002. № 79. P. 819–825.

48. Koksel H., Masatcioglu T., Kahraman K., Ozturk S., Basman A. Improving effect of lyophilization on functional properties of resistant starch preparations formed by acid hydrolysis and heat treatment. *J Cereal Sci*. 2008. Vol. 47, № 2. P. 275–282.

49. Xie X., Liu Q. Development and physicochemical characterization of new resistant citrate starch from different corn starches. *Starch*. 2004. Vol. 56, № 8. P. 364–370.

50. Liu H., Liang R., Antoniou J., Liu F., Shoemaker C.F., Li Y., Zhong F. The effect of high moisture heat-acid treatment on the structure and digestion property of normal maize starch.. *Food Chem*. 2014. № 159. P. 222-229.

51. Heacock P.M., Hertzler S.R., Wolf B. The glycemic, insulinemic, and breath hydrogen responses in humans to a food starch esterified by 1-octenylsuccinic anhydride. *Nutr Res*. 2004. № 24. P. 581–692.

52. Han J.A., BeMiller J.N. Preparation and physical characteristics of slowly digesting modified food starches. *Carbohydr Polym*. 2007. № 67. P. 366–374.

53. Sajilata M.G., Singhal R.S., Kulkarni P.R. Resistant starch - a review. *Compr Rev Food Sci F*. 2006. № 5. P. 1-17.

54. Kahraman K., Koksel H., Ng P.K.W. Optimisation of the reaction conditions for the production of cross- linked starch with high resistant starch content. *Food Chem*. 2015. № 174. P. 173-179.

55. Futch J Altering sweet potato starch functionality by amino acids and pH treatments. *M. Sc. Thesis*. B.S., Louisiana State University, USA. 2009. URL: https://digitalcommons.lsu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=4641&context=gradschool_theses.

56. Zeiba T., Kapelko M., Szumny A. Effect of preparation method on the properties of potato starch acetates with an equal degree of substitution. *Carbohydr Polym.* 2013. № 94. P. 193-198.
57. Juansang J., Puttanlek C., Rungsardthong V., Punchaarnon S., Uttapap D. Effect of gelatinisation on slowly digestible starch and resistant starch of heat-moisture treated and chemically modified canna starches. *Food Chem.* 2012. № 131. P. 500-507
58. Boluda-Aguilar M., Taboada-Rodríguez A., Lopez-Gomez A., Marín-Iniesta F., Barbosa-Canovas G.V. Quick cooking rice by high hydrostatic pressure processing. *Food Sci Technol.* 2013. Vol. 51. P. 196-204.
59. Deng Y., Jin Y., Luo Y., Zhong Y., Yune J., Song X., Zhao Y. Impact of continuous or cycle high hydrostatic pressure on ultra structure and digestibility of rice starch granules. *J Cereal Science.* 2014. № 60. P. 302-310.
60. Zhang B., Chen L., Zhao Y., Li X. Structure and enzymatic resistivity of debranched high temperature pressure treated high-amylose corn starch. *J Cereal Sci.* 2013. № 57. P. 348–355.
61. Jeyakumari A., Zynudheen A. A., Parvathy U. Microencapsulation of bioactive food ingredients and controlled release-a review. *MOJ Food Process Technol.* 2016. Vol. 2, №6. P. 214–224.
62. Poshadri A., Kuna A. Microencapsulation technology: a review. *Journal Research Angrau.* 2010. Vol. 38, №1, P. 86-102.
63. Correa-Filho L. C., Moldao-Martins M. and Alves V. D. Advances in the Application of Microcapsules as Carriers of Functional Compounds for Food Products. *Applied Scinces.* 2019. Vol. 9, №571. P. 1-18.
64. Choudhury N., Meghwa M., Das K. Microencapsulation: An overview on concepts, methods, properties and applications in foods. *Food Frontiers.* 2021. № 2. P. 426–442.
65. Bakrudeen H.B., Sudarvizhi C., Reddy B.S.R. Starch nanocrystals based hydrogel: Construction, characterizations and transdermal application. *Mater. Sci. Eng. C.* 2016. 68. P. 880–889.

66. Miao Z., Zhang Y., Lu P. Novel active starch films incorporating tea polyphenols-loaded porous starch as food packaging materials. *Int J Biol Macromol.* 2021. №192. P. 1123–1133.

67. Leyva-López R., Palma-Rodríguez H.M., López-Torres A., Capataz-Tafur J., Bello-Pérez L.A., Vargas-Torres A. Use of enzymatically modified starch in the microencapsulation of ascorbic acid: nano-microcapsule characterization, release behavior and in vitro digestion. *Food Hydrocoll.* 2019. № 96. P. 259– 266.

68. Sun Y., Shi C., Yang J., Zhong S., Li Z., Xu L., et al. Fabrication of folic acid decorated reductive-responsive starch-based microcapsules for targeted drug delivery via sonochemical method. *Carbohydr Polym.* 2018. № 200. P. 508– 515.

69. Zhu J., Zhong L., Chen W., Song Y., Qian Z., Cao X., et al. Preparation and characterization of pectin/chitosan beads containing porous starch embedded with doxorubicin hydrochloride: A novel and simple colon targeted drug delivery system. *Food Hydrocoll.* 2019. № 95. P. 562–570.

70. Wulff D., Chan A., Liu Q., Gu F.X., Aucoin M.G. Characterizing internal cavity modulation of corn starch microcapsules. *Heliyon.* 2020. Vol. 6, № 10. <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05294>.

71. Xiao Z., Kang Y., Hou W., Niu Y., Kou X. Microcapsules based on octenyl succinic anhydride (OSA)-modified starch and maltodextrins changing the composition and release property of rose essential oil. *Int J Biol Macromol.* 2019. № 137. P. 132–138.

72. Mehran M., Masoum S., Memarzadeh M. Improvement of thermal stability and antioxidant activity of anthocyanins of *Echium amoenum* petal using maltodextrin/modified starch combination as wall material. *Int J Biol Macromol.* 2020. № 148. P. 768–776.

73. Oyeyinka S.A., Akintayo O.A., Adebo O.A., Kayitesi E., Njobeh P.B. A review on the physicochemical properties of starches modified by microwave alone and in combination with other methods. *Int J Biol Macromol.* 2021. № 176. P. 87– 95.

74. Samborska K., Boostani S., Geranpour M., Hosseini H., Dima C., Khoshnoudi-Nia S., et al. Green biopolymers from by-products as wall materials for spray drying

microencapsulation of phytochemicals. *Trends in Food Science & Technology*. 2021. № 108. P. 297–325.

75. Zhao B., Wang B., Zheng B., Chen L., Guo Z. Effects and mechanism of high-pressure homogenization on the characterization and digestion behavior of lotus seed starch-green tea polyphenol complexes. *Journal of Functional Foods*. 2019. № 57. P. 173–181.

76. Rahaman A., Kumari A., Zeng X., Farooq M.A., Siddique R., Khalifa I., et al. Ultrasound based modification and structural-functional analysis of corn and cassava starch. *Ultrason Sonochem*. 2021. №8. doi: 10.1016/j.ultsonch.2021.105795.

77. Xu L., Zhong S., Shi C., Sun Y., Zhao S., Gao Y., et al. Sonochemical fabrication of reduction-responsive magnetic starch-based microcapsules. *Ultrason Sonochem*. 2018. № 49. P. 169–174.

78. Błaszczak W., Bucinski A., Górecki A.R. In vitro release of theophylline from starch-based matrices prepared via high hydrostatic pressure treatment and autoclaving. *Carbohydrate Polymers*. 2015. № 117. P. 25–33.

79. Cano-Higuera D.M., Malacrida C.R., Telis V.R.N. Stability of curcumin microencapsulated by spray and freeze drying in binary and ternary matrices of maltodextrin, gum arabic and modified starch. *Journal Food Processing Preservation*. 2015 № 39. P. 2049–2060

80. Domian E., Brynda-Kopytowska A., Cenkier J., Swirydow E. Selected properties of microencapsulated oil powders with commercial preparations of maize OSA starch and trehalose. *Journal of Food Engineering*. 2015. № 152. P. 72–84.

81. Shah N.N., Singhal R.S. A two-tier modified starch-oxidation followed by n-octenyl succinylation as gum Arabic substitute: Process details and characterization. *Journal of Food Engineering*. 2018. Vol. 226. P. 96–104.

82. Wang S., Chen Y., Liang H., Chen Y., Shi M., Wu J., et al. Intestine specific delivery of hydrophobic bioactives from oxidized starch microspheres with an enhanced stability. *Journal Agricultural and Food Chemistry*. 2015. Vol. 63. P. 8669–8675.

83. Shabana S., Prasansha R., Kalinina I., Potoroko I., Bagale U., Shirish S.H. Ultrasound assisted acid hydrolyzed structure modification and loading of antioxidants on potato starch nanoparticles. *Ultrason Sonochem.* 2019. Vol. 51. P. 444– 50.
84. Lei M., Jiang F., Cai J., Hu S., Zhou R., Liu G., et al. Facile microencapsulation of olive oil in porous starch granules: Fabrication, characterization, and oxidative stability. *International Journal of Biological Macromolecules.* 2018. Vol. 111. P. 755–761.
85. Reddy C.K., Son S.Y., Lee C.H. Effects of pullulanase debranching and octenylsuccinic anhydride modification on the structural properties of maize starch-green tea extract complexes. *Food Hydrocoll.* 2021. Vol. 115. doi: 10.1016/j.foodhyd.2021.106630.
86. Wang Y., Shao J., Wang Z., Lu Z. Study of allicin microcapsules in β -cyclodextrin and porous starch mixture. *Food Research International.* 2012. Vol. 49. P. 641– 647.
87. Xiao Z., Xia J. Zhao Q., Niu Y., Zhao D. Maltodextrin as wall material for microcapsules: A review. *Carbohydrate Polymers.* 2022. Vol. 298. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.120113>.
88. Trifković K., Tadić G., Bugarski B. Short overview of encapsulation technologies for delivery of bioactives to food. *Journal of Engineering & Processing Management.* 2016. Vol. 8, № 1. P. 103-111.
89. de Boer F.Y., Imhofa A., Velikova K. P. Encapsulation of colorants by natural polymers for food applications. *Coloration Technology.* Vol. 135, № 1. P. 183-194.
90. Mehta N., Kumar P., Verma A.K., Umaraw P., Kumar Y., Malav O. P. et al. Microencapsulation as a noble technique for the application of bioactive compounds in the food industry: a comprehensive review. *Appl. Sci.* 2022. № 12. doi:10.3390/app12031424.
91. Tavares L., Zapata Noreña, C.P. Encapsulation of garlic extract using complex coacervation with whey protein isolate and chitosan as wall materials followed by spray drying. *Food Hydrocoll.* 2019. № 89. P. 360–369.

92. Choudhury N., Meghwal M., Das K. Microencapsulation: An overview on concepts, methods, properties and applications in foods. Vol. 2, № 4. P. 426-442.
93. Frakolaki G., Giannou, V., Kekos, D., Tzia, C. A Review of the microencapsulation techniques for the incorporation of probiotic bacteria in functional foods. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2020. № 61. P. 1515–1536.
94. Bratovcic A., Suljagic J. Micro- and nano-encapsulation in food industry. *Croat. J. Food Sci. Technol.* 2019. Vol. 11, № 1. P. 113-121.
95. New ingredients: shaping the future of food. URL: <https://www.foodswinesfromspain.com/en/foodtech/articles/new-ingredients--shaping-the-future-of-food>.
96. Asha K.K., Anas K. K., Minimol V.A., Lekshmi R.G.K. Recent trends in harvest and post-harvest technologies in fisheries. Kochi: Central institute of fisheries technology. 2017. P. 230-242.
97. Ощипок І.М., Онишко Л.Й. Збагачення харчової сировини інгредієнтами для створення продуктів здорового харчування. 2019. № 22. С. 44-51.
98. Comunian T.A., Silva M.P., Souza C.J.F. The use of food by-products as a novel for functional foods: Their use as ingredients and for the encapsulation process. *Trends in food science & technology.* 2021. Vol. 108. P. 269-280.
99. Pan K., Chen H., Davidson P.M., Zhong, Q. Thymol nanoencapsulated by sodium caseinate: physical and antilisterial properties. *J. Agric. Food Chem.* 2014. № 62. P. 1649–1657.
100. Hategekimana J., Masamba K.G., Ma J., Zhong F. Encapsulation of vitamin E: effect of physicochemical properties of wall material on retention and stability. *Carbohydr. Polym.* 2015. № 124. P. 172–179.
101. Xu J., Zhao W., Ning Y., Bashari M., Wu F., Chen H. et al. Improved stability and controlled release of $\Omega 3/\Omega 6$ polyunsaturated fatty acids by spring dextrin encapsulation. *Carbohydr. Polym.* 2013. № 92. P. 1633–1640.
102. Rasti B., Jinap S., Mozafari M.R., Yazid A.M. Comparative study of the oxidative and physical stability of liposomal and nanoliposomal polyunsaturated fatty

acids prepared with conventional and mozafari methods. *Food Chem.* 2012. № 135. P. 2761–2770.

103. Çam M., İçyer N.C., Erdogan F. Pomegranate peel phenolics: microencapsulation, storage stability and potential ingredient for functional food development. *LWT-Food Sci. Technol.* 2014. № 55. P. 117–123.

104. Rubilar M., Morales E., Contreras K., Ceballos C., Acevedo F., Villarroel M., Shene C. Development of a soup powder enriched with microencapsulated linseed oil as a source of omega-3 fatty acids. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 2012. № 114. P. 423–433.

105. Ezhilarasi P.N., Indrani D., Jena B.S., Anandharamakrishnan, C. Freeze drying technique for microencapsulation of garcinia fruit extract and its effect on bread quality. *J. Food Eng.* 2013. № 117. P. 513–520.

106. Pillai D.S., Prabhasankar P., Jena B.S., Anandharamakrishnan C. Microencapsulation of garcinia cowa fruit extract and effect of its use on pasta process and quality. *Int. J. Food Prop.* 2012. № 15. P. 590–604.

107. Pasrija D., Ezhilarasi P.N., Indrani D., Anandharamakrishnan, C. Microencapsulation of green tea polyphenols and its effect on incorporated bread quality. *LWT-Food Sci. Technol.* 2015. № 64. P. 289–296.

108. Fernández-López J.A., Roca M.J., Angosto J.M., Obón J.M. Betaxanthin-rich extract from cactus pear fruits as yellow water-soluble colorant with potential application in foods. *Plant Foods Hum. Nutr.* 2018. № 73. P. 146–153.

109. Molina C.V., Lima J.G., Moraes I.C.F., Pinho S.C. Physicochemical characterization and sensory evaluation of yogurts incorporated with beta-carotene-loaded solid lipid microparticles stabilized with hydrolyzed soy protein isolate. *Food Sci. Biotechnol.* 2019. № 28. P. 59–66.

108. Hamid T.N.S.; Thakur A. Microencapsulation of wild pomegranate flaved phenolics by lyophilization: effect of maltodextrin concentration, structural morphology, functional properties, elemental composition and ingredient for development of functional beverage. *LWT.* 2020. № 133. Doi: 10.1016/j.lwt.2020.110077.

110. Najjaa H., Chekki, R., Elfalleh W., Tlili H., Jaballah S., Bouzouita N. Freeze-dried, oven-dried, and microencapsulation of essential oil from *allium sativum* as potential preservative agents of minced meat. *Food Sci. Nutr.* 2020. № 8. P. 1995–2003.

111. Radünz M., dos Santos Hackbart H.C., Camargo T.M., Nunes C.F.P., de Barros F.A.P., Dal Magro J., Filho P.J.S., Gandra E.A., Radünz A.L., da Rosa Zavareze E. Antimicrobial potential of spray drying encapsulated thyme (*thymus vulgaris*) essential oil on the conservation of hamburger-like meat products. *Int. J. Food Microbiol.* 2020. 330. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108696.

112. Birt D.F., Boylston T., Hendrich S., et. al. Resistant starch: promise for improving human health. *American Society for Nutrition. Adv. Nutr.* 2013. Vol. 4. P. 587-601.

113. Sanz, T., Salvador, A., Baixauli, R., Fiszman, S. M. Evaluation of four types of resistant starch in muffins. II. Effects in texture, colour and consumer response. *European Food Research & Technology.* 2009. V. 229, №2, P. 197–204.

114. Fuentes-Zaragoza E., Riquelme-Navarette M.J., Sanchez-Zapata E. et. al. Resistant starch as functional ingredients: a review // *Food Res.Int.*2010. V. 43. P. 931-942.

115. Oseiko M., Shevchyk V., Romanovska T. Functional products and preparations in the systemic concept of health. *Ukrainian Food Journal.* 2017. V. 6, № 4. P. 661-673.

116. Sanz T., Fiszman S.M. Resistant starch (RS) in battered fried products: Functionality and high-fibre benefit. *Food Hydrocolloids.* 2008. V. 22. P. 543-549.

117. Öztürk S, Köksel H. Production and characterisation of resistant starch and its utilisation as food ingredient: a review. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods.* 2014. V. 6, №3. P. 335-346.

118. Aparicio-Saguilán A., Sayago-Ayerdi S.G., Vargas-Torres A., Tovar J., Ascencio-Otero T.E., Bello-Perez L.A. Slowly digestible cookies prepared from resistant starch-rich lintnerized banana starch. *Journal of Food Composition and Analysis.* 2017. № 20. P. 175-181.

119. Baixauli R., Sanz T., Salvador A., Fiszman S.M. Muffins with resistant starch: baking performance in relation to the rheological properties of the batter. *Journal of Cereal Science*. 2008. № 47. P. 502-509.
120. Basinci F., Öztürk S., Köksel H., 2009. Production of low fat cakes supplemented with enzyme resistant starch. *4th International dietary fiber conference* (july 1-3, 2009). 2009. Vienna, Austria. P. 133.
121. Basinci, F., Öztürk, S., Zencir, Y. and Köksel, H., 2008. Utilization of resistant starch preparations in reduced fat cakes. *ICC international conference bosphorus* (april 24-26, 2008). 2008. Istanbul, Turkey. P. 210.
122. Rafeeq H., Ahmad S., Tareen M .B. K., Shahzad K. A., Bashir A., Jabeen R., Tariq S., Shehzadi I. Biochemistry of fat soluble vitamins, sources, biochemical functions and toxicity. *Haya: The Saudi Journal of Life Sciences*. 2020. Vol. 5, №9. P. 188-196.
123. Martin D., Jirkovsky E., Macakoa K., Krcmova L. K., Javorska L., Pourova J., Mercolini L., Remiao F., Novakova L., Mladenka P. Vitamin C—sources, physiological role, kinetics, deficiency, use, toxicity, and determination. *Nutrients*. 2021. Vol. 13, № 615. P. 1-34.
124. Cisternas P., Silva-Alvarez C., Martinez F., Fernandez E., Ferrada L., Oyarce K., Salazar K., Bolanos J. P., Nualart F. The oxidized form of vitamin C, dehydroascorbic acid, regulates neuronal energy metabolism. *Journal of neurochemistry*. 2014. №129. P. 663-671.
125. Schlueter A.K., Johnston C.S. Vitamin C: overview and update. *Journal of Evidence-Based Complementary & Alternative Medicine*. 2011. Vol 16, №1. P. 49-57.
126. Cerullo G., Negro M., Parimbelli M., Pecoraro M., Perna S., Liguori G., Rondanelli M., Cena H., D'Antona G. The Long history of vitamin C: from prevention of the common cold to potential aid in the treatment of COVID-19. *Frontiers in immunology*. 2020. Vol. 11. DOI: <https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.574029>.
127. Sinbad O. O., Folorunsho A. A., Olabisi O. L., Ayoola O. A., Temitope E .J. Vitamins as antioxidants. *Journal of Food Science and Nutrition Research*. 2019. Vol. 2, № 3. P. 214-235.

128. Bisharat G. I., Lazou A. E., Panagiotou N. M., Krokida M. K., Maroulis Z. B. Antioxidant potential and quality characteristics of vegetable-enriched corn-based extruded snacks. *Journal Food Science Technology*. 2015. Vol. 52, № 7. P. 3986-4000.
129. Jampilek J. Heterocycles in Medicinal Chemistry. *Molecules*. 2019. Vol. 24, № 21. DOI:10.3390/molecules24213839.
130. Panche A. N., Diwan A. D., Chandra S. R. Flavonoids: an overview. *Journal of Nutritional Science*. 2016. Vol. 5, № 47, P. 1-15.
131. Terahara N. Flavonoids in Foods: A Review. *Natural Product Communications*. 2015. Vol. 10. № 3. P. 521 – 528.
132. Dias M.C., C. G. A. Pinto D., M. S. Silva A. Plant flavonoids: chemical characteristics and biological activity. *Molecules*. 2021. Vol. 26, № 17. DOI:10.3390/molecules26175377.
133. Chand Rana A., Gulliya B. Chemistry and pharmacology of flavonoids: a review. *Indian Journal of Pharmaceutical Education and Research*. 2019. Vol. 53. № 1. DOI:10.5530/ijper.53.1.3.
134. Kumar S., Pandey K. A. Chemistry and biological activities of flavonoids: an overview. *The scientific world journal*. 2013. Vol. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1155/2013/162750>.
135. Kumar R., Vijayalakshmi S., Nadanasabapathi S. Health benefits of quercetin. *Defence Life Science Journal*. 2017. Vol. 2, № 2. P. 142-151.
136. Пічкур В.Я., Лисий О.В., Грабовська О.В., Ковбаса В.М. Дослідження основних фізико-хімічних властивостей набухаючих видів крохмалю. *Наукові праці ОНАХТ*. 2014. Т. 2, № 46. С. 148-152.
137. Ambroz F., Macdonald T./J., Martis V., Parkin I. P. Evaluation of the BET Theory for the Characterization of Meso and Microporous MOFs. *Small Methods*. 2018. DOI: 10.1002/smtd.201800173.
138. Бужанська М. В. Сучасні напрями розвитку технології харчових виробництв. *Вісник Львівського торговельно-економічного університету. Технічні науки*. 2022. №29. С. 46-52.

139. Зубар Н.М. Теоретичні основи харчових виробництв: підруч. Київ: Видавничий дім «Кондор», 2020. 304 с.
140. Evana, Vareka M. S. Determination of Vitamin C (Ascorbic Acid) Contents in Two Varieties of Melon Fruits (*Cucumis melo* L.) by Iodometric Titration. *Fullerene Journal of Chemistry*. 2021. V. 6, №2. P. 143-147.
141. Стрельцова О. О., Менчук В. В. Утворення, властивості розчинів і застосування поверхневоактивних речовин: навчально-методичний посібник. Одеса: Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, 2021. 132 с.
142. Deshavath N.N., Mukherjee G., Goudac V.V., Veeranki V.D., Sastri C. V. Pitfalls in the 3,5-dinitrosalicylic acid (DNS) assay for the reducing sugars: Interference of furfural and 5-hydroxymethylfurfural. *International journal of biological macromolecules*. 2020. № 156. P. 180-185.
143. Куць В. Р., Столярчук П. Г., Друзюк В. М. Кваліметрія : навч. посіб. Львів: вид-во Львів. політехніки, 2012. 256 с.
144. Спосіб визначення показника глікемічності харчових продуктів: пат. 40063 України: МПК А231 1/10. №2000940063; заявл. 10.07.2008, опубл. 27.04.2009. Бюл. №8.
145. Махинько, В. М., Махинько Л. В. Розрахункові методики ФАО/ВООЗ для оцінювання якості харчового білка. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2020. Т. 26, № 4. С. 171–177.
146. Mohan N., Mellem J. J. Structural and physicochemical characterization of porous starch prepared by enzymatic hydrolysis, solvent-exchange, and freeze-thaw cross-linking treatments. *International journal of food science+technology*. V. 57, Issue 4. P. 2356-2364.
147. Krystyjan M., Ciesielski W., Gumul D., Buksa K., Ziobro R., Sikora M. Physico-chemical and rheological properties of gelatinized/freeze-dried cereal starches. *International agrophysics*. 2017. № 37. P. 357-365.
148. Gong Y., Xu S., He T., Dong R., Ren T., Wang X., Hu X. Effect of quick-freezing temperature on starch retrogradation and ice crystals properties of steamed oat roll. *Journal of cereal science*. 2020. V. 96. P. 103-109.

149. Sujka M., Jamroz J. Characteristics of pores in native and hydrolyzed starch granules. *Starch*. 2010. V. 62, Issue 5. P. 229-235.
150. Gun'ko V.M. Features of bet method application to various adsorbents. *Хімія, фізика та технологія поверхні*. 2022. Т. 13. № 3. С. 249-258.
151. Zhang S., Zhou Y., Jin S., Meng X., Yang L., Wang H. Preparation and structural characterization of corn starch-aroma compound inclusion complexes. *Journal of the science of food and agriculture*. 2017. V. 97, № 1. P. 182-190.
152. Lag J., Hadas A., Fairbridge R.W., Nóvoa Muñoz J. C. Hydrophilicity, Hydrophobicity. *Encyclopedia of Soil Science*. 2008. P. 329-330. DOI:10.1007/978-1-4020-3995-9_279.
153. Changmai M., Purkait M.K. Chapter 10 – Membrane adsorption. *Interface Science and Technology*. 2021. V. 33. P. 629-653. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818805-7.00007-2>.
154. Herbig A. L., Renard C. Factors that impact the stability of vitamin C at intermediate temperatures in a food matrix. *Food Chemistry*. 2017. Vol. 220. P. 444-451.
155. Грабовська О. В., Авраменко А. Д., Штангеева Н. І. Використання модифікованих крохмалів для інкапсулювання аскорбінової кислоти. *Priority directions of science development: the 5 th International scientific and practical conference*. Lviv, 2020. P. 179-183.
156. Авраменко А.Д., Грабовська О.В. Технологія інкапсулювання для захисту біологічно активних сполук від впливу зовнішнього середовища. *Актуальні проблеми та перспективи розвитку агропродовольчої сфери, індустрії гостинності та торгівлі: тези доповідей Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. Державний біотехнологічний ун-т, Харків, 2022. С. 388-389.*
157. Білецький В.С., Сергеев П.В., Шендрік Т.Г., Гаркушин Ю.К. Досвід застосування дериватографії для оцінки структури води на вугільній поверхні. *Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія гірничо-електромеханічна*. 2008. Вип. 15, №131. С. 51–65.
158. Brown M.E. Introduction to thermal analysis: techniques and applications. 2nd edition. Springer, 2011. 276 p.

159. Грабовська О., Авраменко А. Майонезний соус на основі аквафаби з інкапсульованим кверцетином. *Товари і ринки*. 2023. Т. 46, № 2. С. 131-147.
160. Kowalczyk A., Przychodna M., Sopata S., Bodalska A., Fecka I. Thymol and thyme essential oil—new insights into selected therapeutic applications. *Molecules*. 2020. Vol. 25. DOI:10.3390/molecules25184125.
161. Escobara A., Perez M., Romanellia G., Blustein G. Thymol bioactivity: A review focusing on practical applications. *Arabian Journal of Chemistry*. 2020. Vol. 13, № 12. P. 9243-9269.
162. Wojarczuk A., Skapska S., Khaneghah A. M., Marszałek K. Health benefits of resistant starch: A review of the literature. *Journal of Functional Foods*. 2022. №93. P. 1-11.
163. Radeloff M.A., Beck, R.H.F. Starch hydrolysis — nutritive syrups and powders. *Sugar Industry*, 2014. Vol.139, № 4. P. 222-227.
164. Sabadash N., Hrabovska O., Fesych, I., Avramenko A., Serhiienko A. Effect of the combined use of β -amylase and pullulanase on the carbohydrate composition of maltose syrups. *Ukrainian Food Journal*. 2021. V. 10, № 4. P. 761-773.
165. Olena Hrabovska, Hanna Pastukh, Alina Avramenko, Natalia Sabadash. Regulation of pectin properties by combination of raw materials. *Ukrainian journal of food science*. 2020. Vol. 8, I. 2. P. 260-267.
166. Сова Н. А., Худайбердієва К. А., Коваленко Н. В., Михненко І. Р. Використання борошна із насіння нішевих культур у технології виробництва кексів. *Вісник НТУ «ХПІ»*. 2021. № 4 (10). С. 94-100.
167. Walsh S. K., Lucey A., Walter J., Zannini E., Arendt E. K. Resistant starch—an accessible fiber ingredient acceptable to the Western palate. *Comprehensive reviews in food science and food safety*. 2022. №21. P. 2930–2955.
168. Зайцева Г.Т., Технологія виготовлення борошняних кондитерських виробів : Підруч. для проф. – техн. навч. закладів / Г.Т. Зайцева, Т.М. Горпинко.– К. : Вікторія, 2002.– 400 с.

169. Azgaldov G.G., Kostin, A.V. Applied Qualimetry: its Origins, Errors and Misconceptions. 2011. *Benchmarking: An International Journal*. V. 18, №3. P. 428–444.
170. Roman L., Martinez M. M. Structural basis of resistant starch (RS) in bread: natural and commercial alternatives. *Foods*. 2019. V. 8, № 267. DOI:10.3390/foods8070267.
171. Majzoobi M., Hedayati S., Habibi M., Ghiasi F., Farahnaky A. Effects of corn resistant starch on the physicochemical properties of cake. *J. Agr. Sci. Tech.* 2014. V. 16. P. 569-576.
172. Спосіб визначення показника глікемічності харчових продуктів: пат. 40063 Україна: А231 1/10. №2000940063; заявл. 10.07.2008; опубл. 27.04.2009, Бюл. №8.
173. Raigond P., Dutt S., Singh B. Resistant starch in food. In book: *Bioactive molecules in food*. 2019. P. 815-846. DOI:10.1007/978-3-319-78030-6_30.
174. Eshghi F., Bakhshimoghaddam F., Rasmi Y., Alizadeh M. Effects of resistant starch supplementation on glucose metabolism, lipid profile, lipid peroxidation marker, and oxidative stress in overweight and obese adults: randomized, double-blind, crossover trial. *Clinical nutrition research*. 2019. V.8, №4. P. 318–328.
175. Sic Zlabur J., Voca S., Dobricevic N., Jezek D., Bosiljkov T., Brncic M. Stevia rebaudiana Bertoni - a review of nutritional and biochemical properties of natural sweetener. *Agriculturae Conspectus Scientificus*. 2013. Vol.78, №1. P. 25-30.
176. A Gasmalla M. A., Yang R., Amadou I., Hua X. Nutritional composition of stevia rebaudiana bertoni leaf: effect of drying method. *Tropical journal of pharmaceutical research*. 2014. V.13, № 1. P. 61-65.
177. Khilar S., Singh A. P., Biagi M., Sharma A. An insight into attributes of Stevia rebaudiana Bertoni: Recent advances in extraction techniques, phytochemistry, food applications and health benefits. *Journal of agriculture and food research*. 2022. V. 10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100458>.
178. Khalid W., Rehman A., Irfan M., Jha, R. P., Khalid M. Z., Aziz A. (2021). Nutritional composition and therapeutic benefits of stevia leaves: a mini review. *Acta Scientific Microbiology*. 2021. V. 4, № 2. P. 37-44.

179. Gonzalez C., Tapia M., Perez E., Pallet D., Dornier M. Main properties of steviol glycosides and their potential in the food industry: a review. *Fruits*. 2014. V. 69, № 2. P. 127-141.

180. Oikonomopoulou V., Stramarkou M., Plakida A., Krokida M. Optimization of encapsulation of stevia glycosides through electrospraying and spray drying. *Food Hydrocolloids*. V. 131. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107854>.

181. Грищенко І., Кравчук Н., Зборовська О. Інноваційні технології соусу майонез. *Інноваційні ресторанні технології*. 2019. Том 2, № 2. С. 248-259.

182. Amin M. H. H., Elbeltagy A. E., Mustafa M., Khalil A. H. Development of low fat mayonnaise containing different types and levels of hydrocolloid gum. *Journal of agroalimentary processes and technologies*. 2014. V. 20, №1. P. 54-63.

183. Mohammed N. K., Ragavan H., Ahmad N. H., Meor H. A. S. Egg-free low-fat mayonnaise from virgin coconut oil. *Foods and raw materials*. 2022. V. 10, № 1, P. 76–85.

184. Yazici G. N., Taspinar T., Ozer M. S. Aquafaba: a multifunctional ingredient in food production. *Biology and life science forum*. 2022. V. 18, № 24. P. 1-6.

185. Ferreira de Menezes R. C., Cristina de Carvalho Q., Santos de Almeida G. B., Pinto L. C. Plant-based mayonnaise: Trending ingredients for innovative products. *International journal of gastronomy and food science*. V. 30, № 9. DOI: [10.1016/j.ijgfs.2022.100599](https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2022.100599).

186. Грабовська О.В., Федорова Д.В., Гніцевич В.А., Дарміна А.Д., Овчаренко О.Р. Технологія соусів емульсійного типу для спеціального дієтичного споживання. *International independent scientific journal*. 2021. V. 1, №26, 2021. P. 31-35.

187. Спосіб виготовлення низьколактозного емульсійного соусу «Wellness» для спеціального харчування: пат. 136990 Україна: МПК А23L 23/00, А23L 27/60 (2016.01). № u201902415; заявл. 12.03.19; опубл. 25.09.19, Бюл. №18.

188. Маковська Т. В., Ткаченко Н. А. Активізація біфідобактерій у технології майонезів оздоровчого призначення. *Technologies of food, light and chemical industry*. 2015. Vol. 6, № 4(26). DOI: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2015.56209>.

189. Flamminii F., Di Mattia C. D., Sacchetti G., Neri L., Mastrocola D., Pittia P. Physical and sensory properties of mayonnaise enriched with encapsulated olive leaf phenolic extracts. *Foods*. 2020. V. 9, №8. DOI: 10.3390/foods9080997.
190. Akcicek A., Yildirim R. M., Tekin-Cakmak Z. H., Karasu S. Low-fat salad dressing as a potential probiotic food carrier enriched by cold-pressed tomato seed oil by-product: rheological properties, emulsion stability, and oxidative stability. *ACS Omega*. 2022. V. 7. P. 48520–48530.
191. Hashemi M. M., Aminlari M., Forouzan M. M., Moghimi E., Tavana M., Shekarforoush S., Mohammadifar M. A. Production and application of lysozyme-gum arabic conjugate in mayonnaise as a natural preservative and emulsifier. *Pol. J. Food Nutr. Sci.* 2018. Vol. 68, № 1. P. 33–43.
192. Mirzanajafi-Zanjani M., Yousefi M., Ehsani A. Challenges and approaches for production of a healthy and functional mayonnaise sauce. *Food Science Nutrition*. 2019. V. 7, № 8. P. 2471–2484.
193. Rahbari M., Aalami M., Kashaninejad M., Maghsoudlou Y., Aghdaei S. S. A. A mixture design approach to optimizing low cholesterol mayonnaise formulation prepared with wheat germ protein isolate. *Journal of food science and technology*. 2015 V. 52, № 6. P. 3383–3393.
194. Pradhananga M., Adhikari B. Sensory and quality evaluation of mayonnaise and its effect on storage stability. *Sunsari technical college journal*. 2015. Vol. 2, № 1. P. 48-53.
195. Nikzade V., Mazaheri Tehrani M., Saadatmand-Tarzjan M. Optimization of low-cholesterol–low-fat mayonnaise formulation: Effect of using soy milk and some stabilizer by a mixture design approach. *Food hydrocolloids*. 2022. Vol. 28, № 2. P. 344-352.
196. Habashi V., Hossein Elhamirad A., Pedramnia A. Textural properties of low fat mayonnaise with whey protein concentrate and Tragacanth gum as egg and fat substitutes. *Foods and raw materials*. 2020. V. 9, № 1. P. 19-23.

197. He Y., Meda V., J.T. Reaney M., Mustafa R. Aquafaba, a new plant-based rheological additive for food applications. *Trends in food science & technology*. 2021. V. 111. P. 27-42.

198. Intikhab A. Aquafaba: nutritional significance for vegans. a way towards environmental sustainability. *Life & Science*. 2023 Vol. 4, № 1. P. 75-81.

199. Rachwa-Rosiak D., Nebesny E., Budryn G. Chickpeas—composition, nutritional value, health benefits, application to bread and snacks: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2015. V. 55. P. 1137–1145.

200. Баля Л.В. Визначення хімічного складу та якісних характеристик зернової квасолі білої. *Зернові продукти і комбікорми*. 2016. Vol. 61, №1. С. 17-20.

201. Basso Los F. G., Ferreira Zielinski A. A., Wojcicchowski J. P., Nogueira A., Mottin Demiate I. Beans (*Phaseolus vulgaris* L.): whole seeds with complex chemical composition. *Current opinion in food science*. 2018. Vol. 19. P. 63-71.

202. Ковальов С. В., Ковальов В. М., Безугла М.В. Амінокислотний та мінеральний склад деяких видів *Phaseolus* L. *Вісник фармації*. 2011. Т. 2, № 66. С. 42-44.

203. Amin M. H. H., Elbeltagy A. E., Mustafa M., Khalil A. H. Development of low fat mayonnaise containing different types and levels of hydrocolloid gum. *Journal of agroalimentary processes and technologies*. 2014. V. 20, № 1. P. 54-63.

204. Park J. J., Olawuyi I. F., Lee W. Y. Characteristics of low-fat mayonnaise using different modified arrowroot starches as fat replacer. *International journal of biological macromolecules*. 2020. Vol. 153. P. 215-223.

205. Baudron V., Gurikov P., Smirnova I., Whitehouse S. Porous starch materials via supercritical- and freeze-drying. *Gels*. 2019. Vol. 5, № 1. DOI: <https://doi.org/10.3390/gels5010012>.

206. Zhang B., Cui D., Liu M., Gong H., Huang Y., Han F. Corn porous starch: Preparation, characterization and adsorption property. *International journal of biological macromolecules*. Vol. 50, № 1. P. 250-256.

207. Маковська Т. В. Дослідження якості емульсії майонезних соусів, збагачених біокоректорами. *Наукові праці ОНАХТ*. 2017. Т. 81, № 2. С. 57-63.

ДОДАТКИ

Додаток А. Розроблений проєкт нормативної документації

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ



ЗАТВЕРДЖЕНО:

Национальний університет харчових
технологій

Ректор

д-р техн. наук, професор

О.О. Шевченко

«18» _____ 2023р.

РОЗРОБЛЕНО

Професор кафедри технології і організації
ресторанного господарства ДТЕУ

Грабовська О.В. Грабовська

«18» *квітня* 2023 р.

Аспірант кафедри технології
цукру і підготовки води НУХТ

Авраменко А.Д. Авраменко

«18» *квітня* 2023р

КРОХМАЛЬ МОДИФІКОВАНИЙ ПОРИСТИЙ

ТЕХНІЧНІ УМОВИ

ТУ У 15.8-02070938-315:2023

(вводитьься вперше)

(на дослідну партію)

Дата надання чинності «18» *квітня* 2023 р.Чинні до «18» *квітня* 2028р.

Розроблені Національним університетом харчових технологій

Дані технічні умови є власністю Національного університету харчових технологій і без його дозволу не можуть бути повністю або частково тиражовані або розповсюджені

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ЗАТВЕРДЖЕНО:

Національний університет
харчових технологій

д-р техн. наук, професор

О.О. Шевченко

2023р.

РОЗРОБЛЕНО

Професор кафедри технології і
організації ресторанного
бизнесу ДТЕУ

О.В. Грабовська

« 18 » квітня 2023 р.

Аспірант кафедри технології
цукру і підготовки води НУХТ

А.Д. Авраменко

« 18 » квітня 2023р

Технологічна інструкція

на виробництво модифікованого пористого крохмалю

(на дослідну партію)

Введена вперше

Дата надання чинності « 18 » квітня 2023 р.

Чинні до « 18 » квітня 2028р.

Розроблена Національним університетом харчових технологій

Дана технологічна інструкція є власністю Національного університету харчових технологій і без його дозволу не може бути повністю або частково тиражована або розповсюджена

Додаток Б. Акти промислової апробації

ЗАТВЕРДЖУЮ

Г.в.о. директора ПБП «ВИМАЛ»

Сергій ЛАЗАР

2023 р.

АКТ

**дослідно-промислових випробувань способу одержання
модифікованого пористого крохмалю**

26 квітня 2023 р.

Даний акт складений представниками підприємства: начальником виробництва ПБП «ВИМАЛ» Чаленко В.І., зав. лабораторією Сироїд Т.В. та представниками розробника: професором кафедри технології і організації ресторанного господарства Державного торговельно-економічного університету (ДТЕУ) Грабовською О.В., асистентом кафедри технології цукру і підготовки води Національного університету харчових технологій (НУХТ) Авраменко А.Д. з іншої сторони, про те, що в період з 24 по 26 квітня 2023 року в умовах виробництва ПБП «ВИМАЛ», яке знаходиться за адресою: м. Чернігів, вул. Інструментальна, 5, було проведено дослідно-промислові випробування способу одержання модифікованого пористого крохмалю з метою перевірки результатів досліджень щодо розроблення технології пористого крохмалю та відпрацювання режимів у виробничих умовах.

Характеристика отриманих продуктів: модифікований пористий крохмаль – порошок тонкого помелу білого кольору, без сторонніх запаху та присмаку; модифікований збагачений кверцетином пористий крохмаль – порошок тонкого помелу злегка жовтуватого кольору, без сторонніх запаху та присмаку.

Інноваційне рішення: розроблений спосіб дозволяє виробляти модифікований пористий крохмаль для використання у харчових продуктах. Пористий крохмаль має властивості резистентного крохмалю, а також він

В результаті випробувань встановлено, що запропонований спосіб дозволяє виробляти модифікований пористий крохмаль, в тому числі і крохмаль збагачений кверцетином, і тим самим розширити асортимент продукції, яку виробляє підприємство.

Комісія вважає запропонований спосіб отримання модифікованого пористого крохмалю перспективним та доцільним.

Професор кафедри технології і організації ресторанного господарства ДТЕУ д.т.н., проф.
Григор'єв О.В. О.В. Грабовська
«27» квітня 2023 р.

Асистент кафедри технології цукру і підготовки води НУХТ
А.Д. Авраменко А.Д. Авраменко
«27» квітня 2023 р.

Від підприємства ПБП «ВИМАЛ»

Начальник виробництва
В.І. Чаленко В.І. Чаленко
«27» квітня 2023 р.

Завідувач лабораторією
Т.В. Сироїд Т.В. Сироїд
«27» квітня 2023 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ФОП «Кононенко

Марина Віталіївна»

Кононенко М.В.

«06» квітня 2023 р.

АКТ**виробничої апробації технології кексів функціонального призначення «Новинка» в умовах ФОП «Кононенко М.В.»**

Даний акт складений представниками підприємства (ФОП «Кононенко М.В.») завідувачем харчового виробництва Споденко О.В., та пекаря Сивак О.А. та представниками розробника: керівником науково-дослідної роботи професором кафедри технології і організації ресторанного господарства Державного торговельно-економічного університету (ДТЕУ) Грабовською О.В. і аспірантом кафедри технології цукру і підготовки води Національного університету харчових технологій (НУХТ) Авраменко А.Д., з іншої сторони, про те, що 4–5 квітня 2023 року в умовах закладу ресторанного господарства ФОП «Кононенко М.В.», яке знаходиться за адресою м. Київ, вул. Сверстюка 6В, було проведено виробничу апробацію технології нового виду кексів функціонального призначення «Новинка».

В умовах закладу було виготовлено дослідну партію кексу «Новинка», до складу якого входить наступна сировина: борошно пшеничне першого гатунку, резистентний крохмаль, цукор, маргарин, меланж, сіль, родзинки, есенція, амоній двовуглекислий.

Приготування кексів здійснювали за запропонованими розробником способами ведення технологічного процесу:

1. підготовку сировини до виробництва здійснювали згідно інструкцій;

2. у тістомісильну машину додавали маргарин нарізаний шматочками і збивали на малих обертах вінчика, доки не утворилася пластична маса. Потім додавали цукор і збивали протягом 5-10 хв, додаючи порціями суміш ячного меланжу, солі, амонію двовуглекислого та есенцію, доки маса не набула пишної кремоподібної консистенції. Потім додавали родзинки, суміш просіяного борошна з резистентним крохмалем (отриманим згідно ТІ у НУХТ) і швидко збивали 3-5 хв до отримання

однорідної маси. Загальна тривалість вимішування становила 8-15 хв, температура замісу 20-22°С;

3. отримане тісто розкладали у форми, попередньо змащені жиром або застелені пергаментом;

4. тривалість випікання кексів становила 20-25 хв за температури 200...210°С. Випечені кекси охолоджували до кімнатної температури, після чого виймали з форми.

Зберігання готових кексів проводили протягом доби при температурі приміщення. Кекси можуть подаватися на реалізацію як упакованими, так і без пакування.

Якість виробів порівнювали з контрольним зразком, який приготували за стандартною рецептурою кексу «Столичний».

Органолептичну оцінку зразків кексів проводили за стандартними показниками якості за п'ятибальною шкалою. Було розраховано показник глікемічності і енергетичну цінність готового виробу (табл.).

Таблиця

Органолептична оцінка показників кексів «Новинка» і «Столичний» (контроль)

Показник	Кекс «Столичний»	Кекс «Новинка»
Форма	4	4,75
Стан поверхні	4,5	4,7
Колір скоринки	5	5
Структура пористості	4	5
Аромат	5	5
Смак	4,5	5
Розжовування м'якушки	4,5	4,75
Показник глікемічності, од	26,39	21,5
Енергетична цінність, ккал	419,43	378,42

Аналізуючи результати виробничих випробувань, було зроблено наступні висновки:

1. Використання у технології кексу резистентного крохмалю, який виконує функції харчових волокон, не вимагає зміни технологічних параметрів виробництва і є доцільним.

2. Виробничі випробування показали, що запропонований спосіб виготовлення кексів з додаванням до рецептури резистентного крохмалю (заміна 30 % пшеничного борошна), покращує органолептичні показники готових виробів порівняно з кексами, отриманими за стандартною рецептурою, а також дає змогу отримати функціональний продукт пониженої глікемічності і калорійності.

3. Ефект від впровадження розробки складається з соціальної та економічної частин: соціальний ефект полягає в забезпеченні споживачів

борошняним кондитерським виробом для спеціального дієтичного споживання пониженої калорійності та глікемічності; економічний ефект оцінюється впровадженням нового виду продукції для спеціального дієтичного споживання та збільшенням об'єму продаж закладу ресторанного господарства.

Адреса закладу ресторанного господарства:

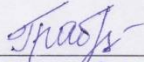
м. Київ вул. Сверстюка 6В.

Назва продукції: кекс функціонального призначення «Новинка»

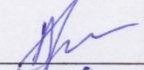
Обсяг дослідної партії: 5 кг (50 кексів виходом 100 г)

Дата виготовлення партії: 4–5 квітня 2023 року

Професор кафедри технології і організації ресторанного господарства ДТЕУ, д.т.н., проф.

 О.В. Грабовська
«06» квітня 2023 р.

Аспірант, кафедри технології цукру і підготовки води НУХТ

 А.Д. Авраменко
«06» квітня 2023 р.

Зав. виробництвом ФОП «Кононенко М.В.»

Споденко О.В.

«06» квітня 2023 р.

Пекар ФОП «Кононенко М.В.»

Сивак О.А.

«06» квітня 2023 р.



ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ТОВ «Продсервіс ІР»

Хачко В.І.

«18» березня 2023 р.



АКТ

виробничої апробації низькокалорійного майонезного соусу «AQUAFABA» в умовах ТОВ «Продсервіс ІР»

Ми, що нижче підписалися, представники Підприємства (ТОВ «Продсервіс ІР»): В.І. Хачко – директор, С.М. Яременко – завідувач виробництвом та представники Розробника (Національний університет харчових технологій, Державний торговельно-економічний університет): Грабовська О.В. – д.т.н., професор кафедри технології і організації ресторанного господарства ДТЕУ, Авраменко А.Д. – аспірант кафедри технології цукру і підготовки води НУХТ склали цей акт на підставі того, що з 15 по 17 березня 2023 року в умовах підприємства ТОВ «Продсервіс ІР», яке знаходиться за адресою с. Михайлівка-Рубежівка, вул. Шкільна, 30, було проведено виробничу апробацію технології низькокалорійного майонезного соусу «AQUAFABA» і виготовлено дослідну партію майонезу.

Виробничі випробування показали, що запропонований спосіб виготовлення низькокалорійного майонезного соусу з використанням аквафаби у якості емульгатора замість яєць і пористого резистентного крохмалю у якості стабілізатора і наповнювача, є ефективним і дозволяє отримувати продукт для спеціального дієтичного споживання.

Адреса потужностей: 08110, Київська обл., Бучанський р-н, с. Михайлівка-Рубежівка, вул. Шкільна 30.

Назва продукції: низькокалорійний майонезний соус «AQUAFABA»

Обсяг дослідної партії: 5 кг (100 порцій виходом 50 г)

Дата виготовлення партії: з 15 по 17 березня 2023 року

Професор кафедри технології і організації ресторанного господарства ДТЕУ д.т.н., проф.
Грабовська О.В.
«18» березня 2023 р.

аспірант, кафедри технології цукру і підготовки води НУХТ
Авраменко А.Д.
«18» березня 2023 р.

Завідувач виробництвом ТОВ «Продсервіс ІР»
С.М. Яременко
«18» березня 2023 р.

**Додаток В. Розрахунок економічної ефективності
Техніко-економічне обґрунтування впровадження виробництва
модифікованого пористого крохмалю на картоплекрохмальному
підприємстві потужністю 200 т картоплі на добу**

Техніко-економічне обґрунтування стосується організації виробництва модифікованого пористого крохмалю на картоплекрохмальному заводі потужністю 200 т переробки картоплі на добу.

Картоплекрохмальне підприємство переробляє картоплю на крохмаль в середньому протягом 7 місяців на рік, тобто протягом року це 210 діб роботи підприємства. За цей час воно переробить близько 42 тис т картоплі на крохмаль, кількість модифікованого пористого крохмалю буде становити 270 т.

**Розрахунок економічної ефективності виробництва модифікованого
крохмалю**

Розрахунки виконано в цінах 2023 року за середніми даними по галузі.

Одним із головних показників у роботі підприємств харчової та переробної промисловості є собівартість кінцевого продукту. Собівартість продукту – це грошове вираження усіх витрат підприємства на виробництво і реалізацію продукції. Це групування використовується для обчислення затрат за видами виготовленої продукції та місцем виникнення затрат (цехами, відділами, тощо) і залежить від багатьох факторів: методу планування затрат, технологічного процесу та продукції, що виготовляється.

Встановлення переліку та складу статей калькулювання виробничої собівартості продукції (робіт, послуг) регламентується Наказом про облікову політику підприємства. Витрати, пов'язані з виробництвом продукції (робіт, послуг), групуються за статтями калькуляції:

- 1) сировина та основні матеріали;
- 2) допоміжні матеріали;
- 3) паливо, пара, електроенергія;

- 4) заробітна плата (основна і додаткова);
- 5) відрахування на соціальні заходи;
- 6) витрати на утримання та експлуатацію устаткування;
- 7) загально-виробничі витрати;
- 8) втрати від браку;
- 9) адміністративні витрати;
- 10) зовнішньо-виробничі витрати;
- 11) інші виробничі витрати;
- 12) виробнича собівартість.

Стаття калькуляції «**Сировина та матеріали**» включає вартість сировини і матеріалів, що входять до складу продукції або використовуються у процесі виробництва продукції. До цієї ж статті належать витрати на воду, яка йде на технологічні потреби.

До статті калькуляції «**Паливо та енергія**» включають витрати на всі види палива (пари, електроенергії, холоду, тощо), що безпосередньо використовуються в процесі виробництва.

Таблиця Д.1. Розрахунок вартості сировини та матеріалів на виробництво 1 т модифікованого пористого крохмалю

Вид сировини та основних матеріалів	Одиниця виміру	Норми витрат на 1 т виробу	Ціна одиниці сировини, грн.	Сума, грн.
Картопляний крохмаль (W=14%)	т	1,316	38	50008
Вода	м ³	7,7	30,384	233,96
Разом витрат на сировину і основні матеріали				50241,96

Таблиця Д.2 . Розрахунок вартості палива і електроенергії на технологічні цілі

Енерговитрати	Одиниця виміру	Ціна за одиницю, грн.	Модифікований пористий крохмаль	
			Норма витрат на 1т	Сума, грн.
Електроенергія	Квт. Год	3,80028	3000	11400,84
Теплоенергія	Гкал	1521,21	15	22818,15
всього по статті				34218,99

До статті «Заробітна плата» відносяться витрати на виплату основної заробітної плати робітників, обчисленої згідно з прийнятими підприємством системами оплати праці, у вигляді тарифних ставок (окладів) і відрядних розцінок для робітників, зайнятих виробництвом продукції. Заробітна плата робітників, зайнятих у виробництві відповідної продукції, безпосередньо відноситься до собівартості відповідних видів продукції.

Середньоспискова чисельність 9 людей. Середній заробіток за 1 люд. день 553,4 грн. Кількість робочих днів 210.

Витрати праці $9 \cdot 210 = 1890$ люд.-днів

Середня заробітна плата за 1 люд.-день 553,4 грн.

Потреба в зарплаті $553,4 \cdot 1890 = 1045926$ грн.

На 1 т модифікованого крохмалю $2091852/83 = 12601,52$ грн

До статті «Відрахування на соціальні заходи» включаються нарахування на заробітну плату робітників, зайнятих виробництвом продукції, які включають відрахування: на загальнообов'язкове державне пенсійне страхування; на соціальне страхування у зв'язку з тимчасовою втратою працездатності; на соціальне страхування на випадок безробіття; на соціальне страхування від нещасного випадку; на індивідуальне страхування та інші соціальні заходи відповідно до законодавства.

Відрахування здійснюються у розмірах, визначених законодавством, у відсотках до суми основної та додаткової заробітної плати. Загальна сума відрахувань приймається за даними підприємства у розмірі 37,76 %.

Річні відрахування $1045926 \cdot 37,76/100 = 394941,66$ грн.

На 1 т модифікованого пористого крохмалю: $12601,52 \cdot 37,76/100 = 4758,34$ грн

Розрахунок витрат на утримання та експлуатацію устаткування та загальновиробничі витрати.

До даної статті відносяться витрати :

— на утримання і експлуатацію виробничого обладнання, робіт, необхідних для догляду за виробничим устаткуванням і утриманням його у робочому стані;

— на ремонти, що здійснюються для підтримки об'єкта в робочому стані.

Включаються витрати на придбання запасних частин, деталей, вузлів та інших матеріалів, тощо;

— витрати на обслуговування виробничого процесу; на утримання, експлуатацію, технічний огляд та технічне обслуговування основних засобів цехового призначення; здійснення технологічного контролю за виробничим процесом;

Загальновиробничі витрати і витрати на утримання устаткування приймаємо 70% від основної заробітної плати.

Розрахунок загальновиробничих витрат

На 1 т модифікованого крохмалю $12601,52 \cdot 70/100 = 8821,064$ грн

До витрат на збут належать витрати, пов'язані з реалізацією (збутом) продукції. Приймаємо витрати на збут 1 % від виробничої собівартості.

На 1 т модифікованого пористого крохмалю $110641,87 \cdot 1/100 = 1106,42$ грн

Визначення ефективності виробництва продукції. Для визначення ефективності виробництва та реалізації продукції розраховують виробничу собівартість, повні витрати на виробництво продукції, планують величину очікуваного прибутку, виходячи із встановленої ціни. Сума всіх перерахованих вище статей витрат за вирахуванням зворотних відходів становить повні витрати на виробництво певного виду продукції.

Таблиця Д.3. Планова калькуляція собівартості модифікованого пористого крохмалю

№	Найменування статей калькуляції, найменування матеріалів	Витрати на 1т, грн
1	Сировина і матеріали	50241,96
2	Паливо та енергія на технологічні цілі	34218,99
3	Заробітна плата робітників	12601,52
4	Відрахування на соціальні заходи	4758,34
5	Витрати на утримання та експлуатацію устаткування і загальновиробничі витрати	8821,064
6	Виробнича собівартість (1+2+3+4+5)	110641,87
7	Адміністративні витрати (5% від ВС)	5532,09
8	Витрати на збут	1106,42
9	Повні витрати	117280,38

Відпускна ціна продукції підприємства включає: виробничу собівартість, визначені адміністративні витрати, витрати на збут, норму прибутку.

$$Ц = ВС + Va + Vz + П$$

Де: Ц — ціна; ВС — виробнича собівартість продукції; Va — адміністративні витрати; Vz — витрати на збут; П — сума прибутку; ПДВ — сума податку на додану вартість. Суму прибутку визначають за формулою:

$$П = \frac{P \times (BC + Va + Vz)}{100}$$

де P — рівень рентабельності, що планується підприємством (або встановлюється законодавчо).

Таблиця Д.4. Розрахунок відпускної ціни, грн. за 1 т модифікованого крохмалю

№	Показники	Модифікований пористий крохмаль
1	Виробнича собівартість	110641,87
2	Адміністративні витрати	5532,09
3	Витрати на збут	1106,42
4	Повні витрати	117280,38
5	Рентабельність, %	22,00
6	Прибуток	35184,114
7	Відпускна ціна підприємства (ціна без ПДВ)	152464,494
8	ПДВ (20%)	30492,9
9	Відпускна ціна	182957,4
10	Відпускна ціна за 1 кг., грн.	182,96
11	Торгівельна націнка, %	27,57
12	Роздрібна ціна модифікованого крохмалю:	
	1 кг	210,53
	1т	210530

Розрахунок капітальних витрат

Впровадження розробленої технології модифікованого пористого крохмалю планується у приміщенні цеху модифікованого крохмалю ПБП «Вимал» з використанням частини існуючого обладнання. Для реалізації технології необхідно придбати нове обладнання: морозильну камеру, прес для видалення вологи, сушильну камеру для розморожування в висушування модифікованого крохмалю. Інше обладнання, передбачене технологічною схемою, можна замінити на наявне на даному підприємстві.

Таблиця Д.5. Розрахунок витрат на придбання нового обладнання

Нове устаткування	Кількість	Ціна, грн.
1. Морозильна камера	1	78000
2. Прес	1	26400
3. Сушильна шафа	2	424220
Всього, грн		528620

Загальні витрати на придбання нового устаткування (з урахуванням витрат на трубопроводи і КВП) та на модернізацію існуючого обладнання складають: $528620 + 3700,34 = 532320,64$ грн.

До суми капітальних витрат входить, грн.:

$$K = V_{\text{пр}} + T_p + M + Д + З - V_p$$

де K – сума капітальних витрат;

$V_{\text{пр}}$ – витрати на придбання нового устаткування;

T_p – витрати на транспортування нового устаткування
($T_p = 532320,34 \cdot 0,02 = 106464,07$ грн.);

M – витрати на монтаж нового устаткування ($M = 532320,34 \cdot 0,1 = 53232,03$ грн.);

$Д$ – витрати на демонтаж старого устаткування = 0 грн.;

$З$ – залишкова вартість замінюваного устаткування = 0 грн.;

V_p – виручка від реалізації замінюваного устаткування = 0 грн.

Отже, капітальні витрати, необхідні для впровадження технології пектину з картопляної мезги:

$$K = 532320,34 + 106464,07 + 53232,03 = 692016,44 \text{ грн.}$$

Розрахунок основних техніко-економічних показників цеху виробництва модифікованого пористого крохмалю

Чистий прибуток підприємства від виробництва і реалізації 1 т модифікованого пористого крохмалю буде становити 35184,114 грн., за умови прийнятої рентабельності 22 %. За умови роботи підприємства протягом 7 місяців на рік (210 діб) перероблення картоплі протягом року становить 42 тис т, при цьому може бути вироблено 270 т модифікованого пористого крохмалю. Прибуток підприємства від реалізації модифікованого пористого крохмалю буде становити:

$$\text{Пп} = 35184,114 \cdot 270 = 9526717,8 \text{ грн. на рік.}$$

Термін окупності капітальних витрат:

$$T = K_{\text{заг}} / \text{Пп} = 692016,44 / 9526717,8 = 0,8 \text{ роки}$$

Розрахунки виконала

Аспірант кафедри ТЦПВ

Перевірив

Канд. економ наук., доцент

Авраменко А.Д.

Слободян Н.Я.

Додаток Г. Оптимізація науково-дослідних даних

Оптимізація двопараметричної задачі нелінійного

програмування

Кукурудзяний крохмаль

Таблиця Д.6. Параметри оптимізації

Конц. крох. клейстеру, %	5	10	15	20
Конц. р-ну аскор. к-ти, %	Кількість інкапсульованої аскорбінової кислоти, %			
2	57,3	79,3	61,6	67,5
4	61,5	68,3	71,5	72,5
6	65	67,7	70,2	75
8	72,6	67,1	68,5	77,5
10	62	68,4	64,5	77,3

Знаходження залежності кількості інкапсульованої аскорбінової кислоти від концентрації крохмального клейстеру, що піддавався заморожуванню, і концентрації аскорбінової кислоти у водному розчині.

$$N := 19 \quad i := 0..N$$

$$C := (5 \ 10 \ 15 \ 20 \ 5 \ 10 \ 15 \ 20 \ 5 \ 10 \ 15 \ 20 \ 5 \ 10 \ 15 \ 20 \ 5 \ 10 \ 15 \ 20)^T$$

$$\tau := (2 \ 2 \ 2 \ 2 \ 4 \ 4 \ 4 \ 4 \ 6 \ 6 \ 6 \ 6 \ 8 \ 8 \ 8 \ 8 \ 10 \ 10 \ 10 \ 10)^T$$

$$G := (57.3 \ 79.3 \ 61.6 \ 67.5 \ 61.5 \ 68.3 \ 71.5 \ 72.5 \ 65 \ 67.7 \ 70.2 \ 75 \ 72.6 \ 67.1 \ 68.5 \ 77.5 \ 62 \ 68.4 \ 64.5 \ 77.3)^T$$

$$A := \begin{bmatrix} N+1 & \sum C & \sum \tau & \sum (C_i \cdot \tau_i) & \sum C^2 & \sum \tau^2 \\ \sum C & \sum C^2 & \sum (C_i \cdot \tau_i) & \sum [(C_i)^2 \cdot \tau_i] & \sum C^3 & \sum [C_i \cdot (\tau_i)^2] \\ \sum \tau & \sum (C_i \cdot \tau_i) & \sum \tau^2 & \sum [C_i \cdot (\tau_i)^2] & \sum [(C_i)^2 \cdot \tau_i] & \sum \tau^3 \\ \sum (C_i \cdot \tau_i) & \sum [(C_i)^2 \cdot \tau_i] & \sum [C_i \cdot (\tau_i)^2] & \sum [(C_i)^2 \cdot (\tau_i)^2] & \sum [(C_i)^3 \cdot \tau_i] & \sum [C_i \cdot (\tau_i)^3] \\ \sum C^2 & \sum C^3 & \sum [(C_i)^2 \cdot \tau_i] & \sum [(C_i)^3 \cdot \tau_i] & \sum C^4 & \sum [(C_i)^2 \cdot (\tau_i)^2] \\ \sum \tau^2 & \sum [C_i \cdot (\tau_i)^2] & \sum \tau^3 & \sum [C_i \cdot (\tau_i)^3] & \sum [(C_i)^2 \cdot (\tau_i)^2] & \sum \tau^4 \end{bmatrix}$$

$$a := A^{-1} \cdot C1$$

$$F1(x1, x2) := a_0 + a_1 \cdot x1 + a_2 \cdot x2 + a_3 \cdot x1 \cdot x2 + a_4 \cdot x1^2 + a_5 \cdot x2^2$$

$$SKP1 := \sqrt{\sum_{i=0}^N \frac{(G_i - F1(C_i, \tau_i))^2}{N}} \quad SKP1 = 4.651$$

$$C1 := \begin{bmatrix} \sum G \\ \sum (G_i \cdot C_i) \\ \sum (G_i \cdot \tau_i) \\ \sum (G_i \cdot C_i \cdot \tau_i) \\ \sum [G_i \cdot (C_i)^2] \\ \sum [G_i \cdot (\tau_i)^2] \end{bmatrix}$$

$$a = \begin{pmatrix} 58.1075 \\ 0.2752 \\ 1.95107 \\ 0.0381 \\ 0.0022 \\ -0.17634 \end{pmatrix}$$

$$f02(x) := F1(5, x) \quad f04(x) := F1(10, x)$$

$$f06(x) := F1(15, x) \quad f08(x) := F1(2, x)$$

$$j := 0..4 \quad \tau1_j := \tau_{0+4 \cdot j}$$

$$g02_j := G_{0+4 \cdot j} \quad g04_j := G_{1+4 \cdot j} \quad g06_j := G_{2+4 \cdot j} \quad g08_j := G_{3+4 \cdot j}$$

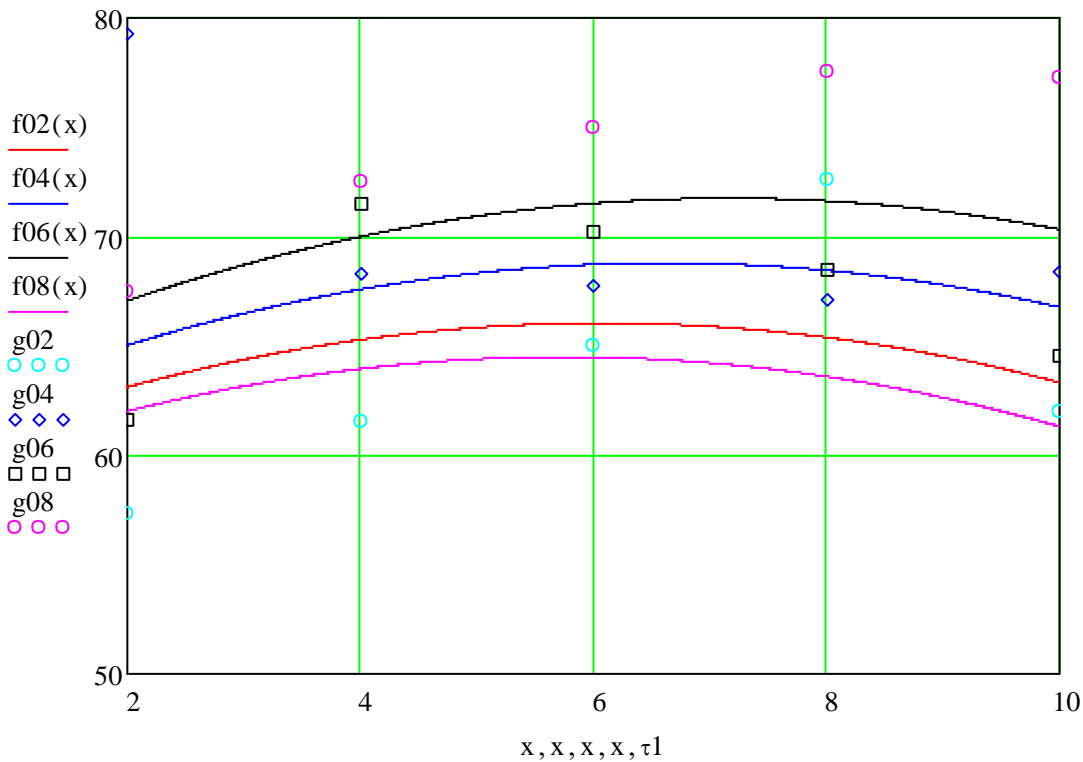


Рис. Д. 1. Залежність кількості інкапсулювання аскорбінової кислоти з водних розчинів від концентрації крохмального клейстеру, що піддавався заморожуванню

$$\text{IBG} := (57 \ 63 \ 68 \ 72 \ 75 \ 80)^T$$

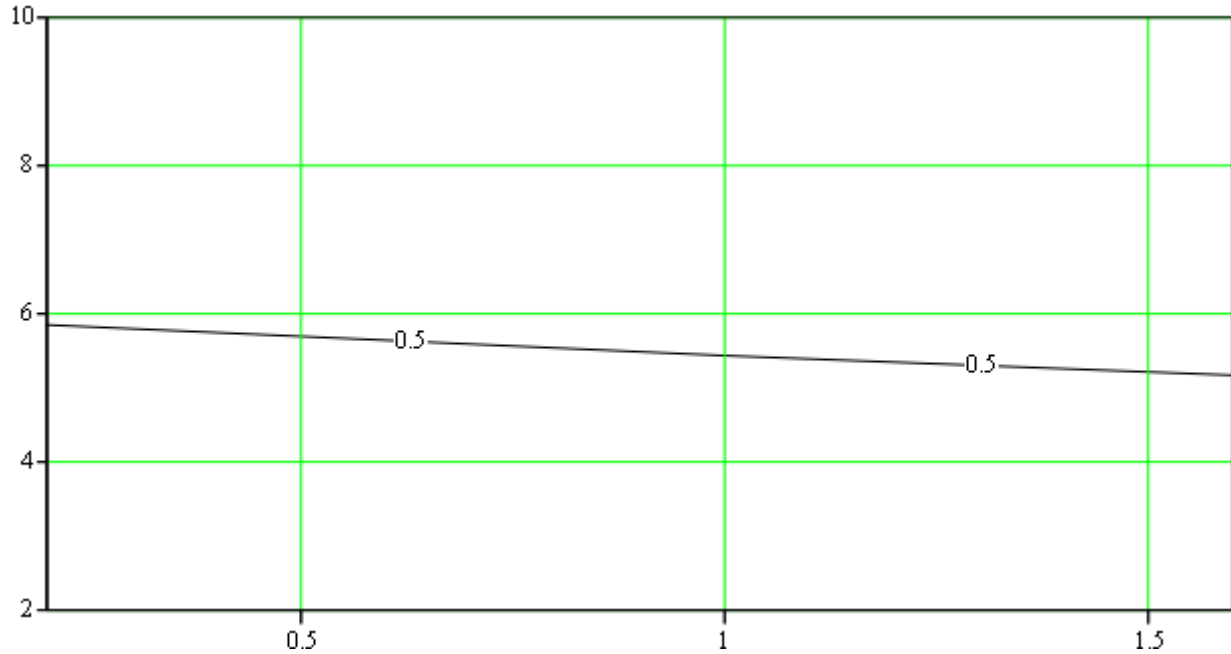
$$\text{IBC} := (20 \ 17.5 \ 15 \ 12.5 \ 10 \ 5)^T$$

$$\text{IB}\tau := (2 \ 3.5 \ 5 \ 6.5 \ 8.5 \ 10)^T$$

$$D := (0.01 \ 0.2 \ 0.37 \ 0.63 \ 0.8 \ 0.99)^T$$

$$a1 := 5 \quad b1 := 20 \quad a2 := 2 \quad b2 := 10 \quad m := 20 \quad i1 := 0..m \quad j1 := 0..m$$

$$h1 := \frac{b1 - a1}{m} \quad h2 := \frac{b2 - a2}{m}$$



Ff

$$\text{OPT2}(F, n, a1, a2, h1, h2) := \left\{ \begin{array}{l} \text{MA} \leftarrow F_{0,0} \\ \text{im} \leftarrow 0 \\ \text{jm} \leftarrow 0 \\ \text{for } i1 \in 0..n-1 \\ \quad \text{for } j1 \in 0..n-1 \\ \quad \quad \text{if } F_{i1,j1} > \text{MA} \\ \quad \quad \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{MA} \leftarrow F_{i1,j1} \\ \text{im} \leftarrow i1 \\ \text{jm} \leftarrow j1 \end{array} \right. \\ \text{x1m} \leftarrow a1 + h1 \cdot (\text{im}) \\ \text{x2m} \leftarrow a2 + h2 \cdot (\text{jm}) \\ \text{z}_0 \leftarrow \text{MA} \\ \text{z}_1 \leftarrow \text{x1m} \\ \text{z}_2 \leftarrow \text{x2m} \\ \text{z} \end{array} \right.$$

$$\text{OPT2}(Ff, N, a1, a2, h1, h2) = \begin{pmatrix} 0.596 \\ 11 \\ 7.2 \end{pmatrix}$$

За допомогою методів математичного моделювання та оптимізації дослідних даних, встановлено, що оптимальна концентрація крохмального клейстеру становить 11%, аскорбінової кислоти 7,2%

Картопляний крохмаль

Таблиця Д.7. Параметри оптимізації

Конц. крох. клейстеру, %	5	10	15	20
Конц. р-ну аскор. к-ти, %	Кількість інкапсульованої аскорбінової кислоти, %			
2	65	65	65,3	65,2
4	65,5	65	65,5	60
6	66,9	60	60,1	49,5
8	67,2	69	63,2	52,7
10	70,7	73	65	52

Знаходження залежності кількості інкапсульованої аскорбінової кислоти від концентрації крохмального клейстеру, що піддавався заморожуванню, і концентрації аскорбінової кислоти у водному розчині

$$N := 19 \quad i := 0..N$$

$$C := (5 \ 10 \ 15 \ 20 \ 5 \ 10 \ 15 \ 20 \ 5 \ 10 \ 15 \ 20 \ 5 \ 10 \ 15 \ 20 \ 5 \ 10 \ 15 \ 20)^T$$

$$\tau := (2 \ 2 \ 2 \ 2 \ 4 \ 4 \ 4 \ 4 \ 6 \ 6 \ 6 \ 6 \ 8 \ 8 \ 8 \ 8 \ 10 \ 10 \ 10 \ 10)^T$$

$$G := (65 \ 65 \ 65.3 \ 65.2 \ 65.5 \ 65 \ 65.5 \ 60 \ 66.9 \ 60 \ 60.1 \ 49.5 \ 67.2 \ 69 \ 63.2 \ 52.7 \ 70.7 \ 73 \ 65 \ 52)^T$$

$$A := \begin{bmatrix} N+1 & \sum C & \sum \tau & \sum (C_i \cdot \tau_i) & \sum C^2 & \sum \tau^2 \\ \sum C & \sum C^2 & \sum (C_i \cdot \tau_i) & \sum [(C_i)^2 \cdot \tau_i] & \sum C^3 & \sum [C_i \cdot (\tau_i)^2] \\ \sum \tau & \sum (C_i \cdot \tau_i) & \sum \tau^2 & \sum [C_i \cdot (\tau_i)^2] & \sum [(C_i)^2 \cdot \tau_i] & \sum \tau^3 \\ \sum (C_i \cdot \tau_i) & \sum [(C_i)^2 \cdot \tau_i] & \sum [C_i \cdot (\tau_i)^2] & \sum [(C_i)^2 \cdot (\tau_i)^2] & \sum [(C_i)^3 \cdot \tau_i] & \sum [C_i \cdot (\tau_i)^3] \\ \sum C^2 & \sum C^3 & \sum [(C_i)^2 \cdot \tau_i] & \sum [(C_i)^3 \cdot \tau_i] & \sum C^4 & \sum [(C_i)^2 \cdot (\tau_i)^2] \\ \sum \tau^2 & \sum [C_i \cdot (\tau_i)^2] & \sum \tau^3 & \sum [C_i \cdot (\tau_i)^3] & \sum [(C_i)^2 \cdot (\tau_i)^2] & \sum \tau^4 \end{bmatrix}$$

$$a := A^{-1} \cdot C1$$

$$F1(x1, x2) := a_0 + a_1 \cdot x1 + a_2 \cdot x2 + a_3 \cdot x1 \cdot x2 + a_4 \cdot x1^2 + a_5 \cdot x2^2$$

$$SKP1 := \sqrt{\sum_{i=0}^N \frac{(G_i - F1(C_i, \tau_i))^2}{N}} \quad SKP1 = 2.381$$

$$f02(x) := F1(5, x) \quad f04(x) := F1(10, x)$$

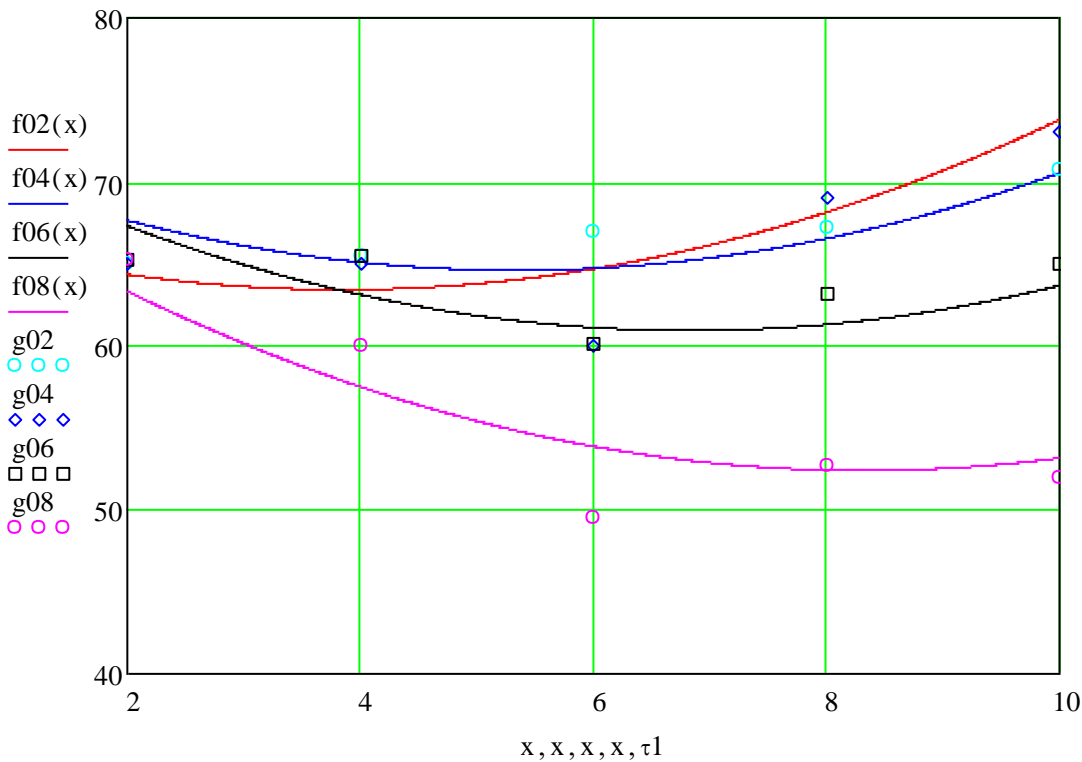
$$f06(x) := F1(15, x) \quad f08(x) := F1(20, x)$$

$$j := 0..4 \quad \tau1_j := \tau_{0+4 \cdot j}$$

$$a = \begin{pmatrix} 58.8975 \\ 2.0774 \\ -1.28643 \\ -0.1633 \\ -0.0728 \\ 0.27366 \end{pmatrix}$$

$$C1 := \begin{pmatrix} \sum G \\ \sum_i (G_i \cdot C_i) \\ \sum_i (G_i \cdot \tau_i) \\ \sum_i (G_i \cdot C_i \cdot \tau_i) \\ \sum_i [G_i \cdot (C_i)^2] \\ \sum_i [G_i \cdot (\tau_i)^2] \end{pmatrix}$$

$$g02_j := G_{0+4 \cdot j} \quad g04_j := G_{1+4 \cdot j} \quad g06_j := G_{2+4 \cdot j} \quad g08_j := G_{3+4 \cdot j}$$



```

HAR(FN, D, fn, z) := FP ← -ln(-ln(D))
if z = 1
  if fn < FN0
    fb ← D0
    break
  if fn > FN5
    fb ← D5
    break
  for i ∈ 0, 1 .. 5
    if fn = FNi
      fb ← Di
      break
    if fn < FNi+1
      fp ← FPi +  $\frac{(fn - FN_i) \cdot (FP_{i+1} - FP_i)}{FN_{i+1} - FN_i}$ 
      fb ← e-e-fp
      break
  otherwise
    if fn > FN0
      fb ← D0
      break
    if fn < FN5
      fb ← D5
      break
    for i ∈ 0, 1 .. 5
      if fn = FNi
        fb ← Di
        break
      if fn > FNi+1
        fp ← FPi +  $\frac{(fn - FN_i) \cdot (FP_{i+1} - FP_i)}{FN_{i+1} - FN_i}$ 
        fb ← e-e-fp
        break
fb

```

$$\text{IBG} := (49 \ 54 \ 61 \ 69 \ 72 \ 79)^T \quad \text{IBC} := (5 \ 7.5 \ 10 \ 15 \ 17.5 \ 20)^T$$

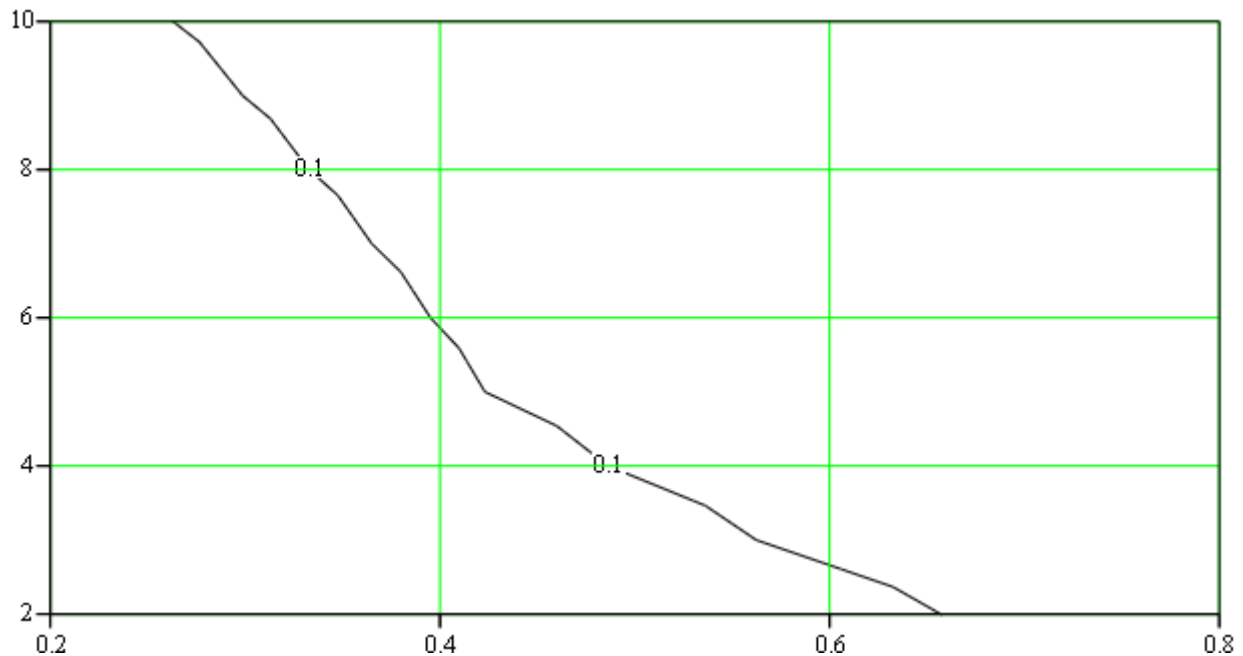
$$\text{IB}\tau := (2 \ 4 \ 6 \ 7.5 \ 8 \ 10)^T \quad \text{D} := (0.01 \ 0.2 \ 0.37 \ 0.63 \ 0.8 \ 0.99)^T$$

$$a1 := 5 \quad b1 := 20 \quad a2 := 2 \quad b2 := 10 \quad m := 20 \quad i1 := 0..m \quad j1 := 0..m$$

$$h1 := \frac{b1 - a1}{m} \quad h2 := \frac{b2 - a2}{m} \quad p1_{i1} := a1 + h1 \cdot i1 \quad p2_{j1} := a2 + h2 \cdot j1$$

$$Y1_{i1,j1} := F1(p1_{i1}, p2_{j1}) \quad ff2_{i1,j1} := \text{HAR}(\text{IBC}, \text{D}, p1_{i1}, 1)$$

$$ff1_{i1,j1} := \text{HAR}(\text{IBG}, \text{D}, Y1_{i1,j1}, 1) \quad ff3_{i1,j1} := \text{HAR}(\text{IB}\tau, \text{D}, p2_{j1}, 1)$$

$$Ff_{i1,j1} := (ff1_{i1,j1})^{0.45} \cdot (ff2_{i1,j1})^{0.45} \cdot (ff3_{i1,j1})^{0.1}$$


Ff

$$\text{OPT2}(F, n, a1, a2, h1, h2) := \left| \begin{array}{l} \text{MA} \leftarrow F_{0,0} \\ \text{im} \leftarrow 0 \\ \text{jm} \leftarrow 0 \\ \text{for } i1 \in 0..n-1 \\ \quad \text{for } j1 \in 0..n-1 \\ \quad \quad \text{if } F_{i1,j1} > \text{MA} \\ \quad \quad \quad \left| \begin{array}{l} \text{MA} \leftarrow F_{i1,j1} \\ \text{im} \leftarrow i1 \\ \text{jm} \leftarrow j1 \end{array} \right. \\ \text{x1m} \leftarrow a1 + h1 \cdot (\text{im}) \\ \text{x2m} \leftarrow a2 + h2 \cdot (\text{jm}) \\ \text{z}_0 \leftarrow \text{MA} \\ \text{z}_1 \leftarrow \text{x1m} \\ \text{z}_2 \leftarrow \text{x2m} \\ \text{z} \end{array} \right.$$

$$\text{OPT2}(F_f, N, a1, a2, h1, h2) = \begin{pmatrix} 0.561 \\ 13.25 \\ 9.2 \end{pmatrix}$$

За допомогою методів математичного моделювання та оптимізації дослідних даних, встановлено, що оптимальна концентрація крохмального клейстеру становить 13,25%, аскорбінової кислоти 9,2%

Додаток Д. Список опублікованих праць за темою дисертації

1. Hrabovska O., Pastukh H., Avramenko A., Sabadash N. Regulation of pectin properties by combination of raw materials. *Ukrainian journal of food science*. 2020. Vol. 8, I. 2. P. 260-267.
2. Hrabovska O., Pastukh H., Avramenko A., Sabadash N.. Effect of the combined use of β -amylase and pullulanase on the carbohydrate composition of maltose syrups. *Ukrainian food journal*. 2021. Vol. 10. I. 4. P. 761-773.
3. Грабовська О.В., Сабадаш Н.І., Авраменко А.Д., Додонова-Судьїна К.О., Пастух Г.С. Розроблення рецептурної композиції рідкого цукрозамінника на основі стевії та мальтозного сиропу для безалкогольних напоїв. *Наукові праці НУХТ*. 2021. Том 27, № 4. С. 141-153.
4. Авраменко А.Д., Грабовська О.В. Використання резистентного крохмалю у технології кексів функціонального призначення. *Харчова промисловість*. 2021. № 30. С. 66-77.
5. Грабовська О., Вітряк О., Авраменко А. Концентрат киселю з інкапсульованим екстарктом гібіскусу. *Товари і ринки*. 2021. Т. 40, № 4. С. 122-132.
6. Грабовська О., Авраменко А. Майонезний соус на основі аквафаби з інкапсульованим кверцетином. *Товари і ринки*. 2023. Т. 46, № 2. С. 131-147.

Колективна монографія

7. Авраменко А., Грабовська О. Удосконалення технології пористого крохмалю для інкапсульювання аскорбінової кислоти Prospective and priority directions of scientific research in technical and agricultural sciences: collective monograph, 2023. P. 239-247. DOI: 10.46299/ISG.2023.MONO.TECH.3.7.1.

Тези доповідей та матеріали конференцій

8. Грабовська О.В., Авраменко А.Д. Капсулювання активних функціональних інгредієнтів для збагачення харчових продуктів матрицею кріомодифікованого крохмалю. *Інноваційний розвиток харчової індустрії: зб. наук. праць за матеріалами VII Міжнародної науково-практичної конференції*. Київ, 2019. С. 25-27.

9. Грабовська О.В., Авраменко А.Д., Штангеева Н. І. Використання модифікованих крохмалів для інкапсулювання аскорбінової кислоти. *Priority directions of science development: the 5 th International scientific and practical conference*. Lviv, 2020. P. 179-183.

10. Авраменко А.Д., Грабовська О.В. Дослідження ступеню вивільнення інкапсульованої аскорбінової кислоти з кріомодифікованого крохмалю. *Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: матеріали 86 Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів*. Київ: НУХТ, 2020. Ч.1. С. 173.

11. Avramenko A., Lukianets H. Research on degree of encapsulated ascorbic acid release from enriched. *Youth scientific achievements to the 21st century nutrition problem solution: 86 International scientific conference of young scientist and students*. Kyiv, 2020. Part 3. P. 503.

12. Грабовська О.В., Авраменко А.Д., Мирошник В.А. Исследование микрокапсулирования аскорбиновой кислоты для обогащения пищевых продуктов. *Актуальные проблемы экологии: сборник научных статей по итогам XV международной научно-практической конференции*. Гордно, 2020 р. С. 125-127.

13. Грабовська О.В., Авраменко А.Д. Інкапсулювання біологічно активних речовин у полісахаридну матрицю для збагачення харчових продуктів. *Якість і безпечність харчової продукції і сировини проблеми сьогодення: матеріали Міжнародної конференції*. Львів, 2020 р. С. 108-110.

14. Авраменко А., Грабовська О. Отримання пористого крохмалю і його використання в харчовій промисловості *Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: матеріали 87 Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів*. К.: НУХТ, 2021 р. Ч.1. С. 179.

15. Авраменко А.Д., Грабовська О.В. Перевірка кріомодифікованого крохмалю на резистентність до дії ферментів. *Інноваційні технології в готельно-ресторанному бізнесі: матеріали X Всеукраїнської науково-практичної конференції*. К.: НУХТ, 2021 р. С. 93-94.

16. Грабовська О.В., Вітряк О.П., Авраменко А.Д. Рідкий цукрозамінник для безалкогольних напоїв на основі стевії та мальтозного сиропу. *Strategy for the development of sugars and natural sweeteners: the International conference*. Kyiv, 2021. P. 111-115.

17. Авраменко А., Грабовська О. Дослідження резистентності картопляного нативного і модифікованого крохмалів. *Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: матеріали 88 Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів*. К.: НУХТ, 2022 р. Ч.1. С. 136.

18. Дарміна М., Грабовська О., Авраменко А. Майонез підвищеної поживної цінності з аквафабою. *Готельно-ресторанний та туристичний бізнес: реалії та виклики: тези доп. Міжнар. студ. наук. конф.* Київ : Держ. торг.-екон. у-т, 2022. С. 234-236.

19. Авраменко А.Д., Грабовська О.В. Використання резистентного крохмалю для створення функціональних продуктів. *Інноваційні технології в готельно-ресторанному бізнесі», присвяченої до 70-річчя з дня народження професора В.Ф. Доценка: матеріали XI Всеукраїнської науково-практичної конференції*. К.: НУХТ, 2022. С. 76-77.

20. Авраменко А., Грабовська О... Дослідження резистентності картопляного нативного і модифікованого крохмалів. *Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: матеріали 88 Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів*. К.: НУХТ, 2022 р. Ч.1. С. 136.

21. Авраменко А.Д., Грабовська О.В. Технологія інкапсулювання для захисту біологічно активних сполук від впливу зовнішнього середовища. *Актуальні проблеми та перспективи розвитку агропродовольчої сфери, індустрії гостинності та торгівлі: тези доповідей Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф.* Державний біотехнологічний ун-т, Харків, 2022. 388-389.

22. Авраменко А., Грабовська О. Дієтичні добавки на основі резистентного пористого крохмалю. *Актуальні проблеми хімії та хімічної технології*: матеріали I-ї Міжнародної науково–практичної конференції. К.: НУХТ, 2022. С. 213-214.

23. Авраменко А., Грабовська О. Кекси для спеціального дієтичного споживання з використанням збагаченого резистентного крохмалю / *Здобутки та перспективи розвитку кондитерської галузі та Інноваційні технології у хлібопекарському виробництві*: матеріали Міжнародних науково-практичних конференцій. К.: НУХТ, 2022. С. 29-33.

24. Авраменко А., Грабовська О. Резистентний крохмаль як функціональний інгредієнт. *Оздоровчі харчові продукти та дієтичні добавки: технології, якість та безпека*: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. К.: НУХТ, 2022 р. С. 35-36.

25. Авраменко А., Грабовська О. Дослідження внутрішньої структури пористого крохмалю. *Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті*: 89 Міжнародна наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів. К.: НУХТ, 2023. Ч. 1. С. 191.

26. Грабовська О., Авраменко А. Технологія кексів з використанням пористого резистентного крохмалю. *Туризм XXI століття: глобальні виклики та цивілізаційні цінності*: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції. Київ, 2023. С. 188-190.