

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський національний аграрний університет
Університет прикладних наук Вайнштефан-Трисдорф
Державний біотехнологічний університет

**С. П. Боковець, О. О. Гринченко, І. М. Сметанська,
С. Б. Омельченко, Ф. В. Перцевой**

**ТЕХНОЛОГІЯ БАТОНЧИКІВ
ЖЕЛЕЙНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ
МЕДУ, БОРОШНА КУНЖУТНОГО
ТА СТРУКТУРОУТВОРЮВАЧІВ
ПОЛІСАХАРИДНОЇ ПРИРОДИ**

Монографія

Суми – Німеччина – Харків
«Діса+»
2024

Рецензенти:

М. Ф. Кравченко, доктор технічних наук, професор, професор кафедри технології і організації ресторанного господарства КНТЕУ;

І. М. Демидов, доктор технічних наук, професор, професор кафедри технології жирів і продуктів бродіння Національного технічного університету «ХПІ»

Колектив авторів:

Боковець Сергій Петрович, доктор філософії, ст. викладач кафедри технології харчування Сумського національного аграрного університету, (підрозділи 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 2.1–2.7);

Гринченко Ольга Олексіївна, д. т. н., професор, завідувач кафедри харчових технологій в ресторанній індустрії Державного біотехнологічного університету, (підрозділи 3.1, 3.2);

Сметанська Ірина Миколаївна, д-р інж. д-р агр. наук, професор, завідувач кафедри рослинництва та переробки рослинної продукції Університету прикладних наук Вайнштефан-Трисдорф, (підрозділи 3.3, 3.4);

Омельченко Світлана Борисівна, к. т. н., доцент, доцент кафедри харчових технологій в ресторанній індустрії Державного біотехнологічного університету, (підрозділи 3.7, 3.8);

Перцевой Федір Всеволодович, д. т. н., професор, завідувач кафедри технології харчування Сумського національного аграрного університету, (підрозділи 1.5, 1.6, 3.5, 3.6)

Боковець С. П.

Б78 Технологія батончиків желейних з використанням меду, борошна кунжутного та структуроутворювачів полісахаридної природи/ С. П. Боковець, О. О. Гринченко І. М. Сметанська, С. Б. Омельченко, Ф. В. Перцевой. – Харків : Діса+, 2024. – 186 с.

ISBN 978-617-8346-22-5

Монографія містить концентровану та систематизовану наукову інформацію (аналітичні та експериментальні дослідження) щодо використання меду, борошна кунжутного, структуроутворювачів полісахаридної природи у рецептурному складі батончиків желейних, що виготовляються та реалізуються підприємствами харчової промисловості. Наукову інформацію представлено текстовою формою, технологічними розрахунками, рисунками, схемами, таблицями та призначено для викладачів, аспірантів, здобувачів ступеню вищої освіти, що займаються науковою роботою.

УДК 664.684

© Боковець С. П., Гринченко О. О.,
Сметанська І. М., Омельченко С. Б.,
Перцевой Ф. В., 2024

© Сумський національний аграрний університет, 2024

© Університет прикладних наук Вайнштефан-Трисдорф, 2024

© Державний біотехнологічний університет, 2024

© Оформлення. Діса+, 2024

ISBN 978-617-8346-22-5

ЗМІСТ

Вступ.....	5
РОЗДІЛ 1 НАУКОВІ ПЕРЕДУМОВИ УДОСКОНАЛЕННЯ БАТОНЧИКІВ ЖЕЛЕЙНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕДУ ТА БОРОШНА КУНЖУТНОГО.....	7
1.1 Аналіз сучасних технологій та перспективи розвитку виробництва батончиків.....	7
1.2 Теоретичні аспекти використання структуроутворювачів в технології корпусів батончиків.....	13
1.3 Особливості хімічного складу, структури та функціональних властивостей полісахаридів для виробництва батончиків.....	17
1.4 Перспективи застосування злаків та фруктів у поєднанні зі структуроутворювачами полісахаридної природи у технології батончиків.....	22
1.5 Характеристика функціонально-технологічних властивостей агару в композиції з гліцерином.....	27
1.6 Аналіз сучасного ринку гелеутворювачів для виготовлення батончиків.....	32
РОЗДІЛ 2. НАУКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОТРИМАННЯ БАТОНЧИКІВ ЖЕЛЕЙНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕДУ ТА БОРОШНА КУНЖУТНОГО.....	38
2.1 Моделювання технології та складу батончика желейного з використанням меду та борошна кунжутного.....	38
2.2. Вивчення міцності гідрогелів полісахаридної природи при додаванні гліцерину.....	44
2.3. Дослідження динамічної в'язкості начинки для виробництва батончиків желейних.....	52
2.4 Накопичення оксиметилфурфуролу при термічному впливі на сировину.....	60
2.5. Дослідження гідрогелів агару у поєднанні з медом та кунжутним борошном методом диференціально-скануючої калориметрії для виробництва батончиків.....	64
2.6. Термогравіметричний аналіз гідрогелів агару у поєднанні з медом та кунжутним борошном для виробництва желейних батончиків.....	73
2.7. Дослідження інфрачервоних спектрів компонентів батончика желейного з використанням меду та порошку кунжутного.....	81
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ БАТОНЧИКІВ ШОКОЛАДНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕДУ ТА БОРОШНА КУНЖУТНОГО.....	101
3.1 Дослідження властивостей меду та борошна кунжутного, визначення хімічного складу та харчової цінності.....	101

3.2 Особливості технологічного процесу виробництва батончиків желейних з використанням меду та борошна кунжутного.....	106
3.3. Аналіз процесу структуроутворення желейної маси на основі агару з додаванням гліцерину.....	107
3.4 Визначення раціональних дозувань меду та борошна кунжутного у технології нового продукту.....	110
3.5 Розробка рецептурного складу та технологічної схеми виробництва батончиків желейних з використанням меду та борошна кунжутного.....	115
3.6 Сенсорний аналіз органолептичних показників якості нового продукту батончика желейного з використанням меду та борошна кунжутного.....	120
3.7 Розрахунок харчової, біологічної цінності та показників безпеки нової продукції.....	123
3.8 Визначення показників якості нового продукту та зміну їх властивостей під час зберігання.....	127
РОЗДІЛ 4 РЕГРЕСІЙНИЙ АНАЛІЗ І ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЦЕПТУРНОГО СКЛАДУ БАТОНЧИКІВ ЖЕЛЕЙНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕДУ ТА БОРОШНА КУНЖУТНОГО.....	131
ВИСНОВКИ.....	146
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	148

ВСТУП

Необхідність розроблення нових видів кондитерських виробів з обмеженим вмістом цукристих речовин та жирової сировини, обумовлена сучасною тенденцією до здорового способу харчування. Це дозволить класифікувати ці вироби, як здорову альтернативу, а не як потенційно шкідливі продукти. Для досягнення цієї мети необхідно вдосконалювати існуючі технології та розробляти нові методи перероблення вітчизняної рослинної сировини в напівфабрикати з максимальним збереженням корисних властивостей. На основі цих напівфабрикатів слід створювати кондитерські вироби з використанням ефективних та інноваційних технічних прийомів.

Слід відзначити, що желейні кондитерські вироби, які базуються на натуральних полісахаридах, мають високий вміст цукру, але низький вміст важливих корисних компонентів, таких як вітаміни та мінерали, і можуть містити штучні смакоароматичні добавки, що є суттєвим недоліком.

Одним із важливих завдань у галузі харчування є повна заміна цукру у рецептурному складі кондитерських виробів, зокрема батончиків, та одночасне збагачення їх корисними мікро- та макроелементами, вітамінами та харчовими волокнами. Для досягнення цієї мети рекомендується використовувати природні підсолоджувачі, такі як натуральний мед, а також рослинні продукти, наприклад, кунжут у різних формах (натуральному вигляді, у вигляді борошна).

Багато українських та зарубіжних вчених займалися проблемою підвищення харчової та біологічної цінності батончиків, а також удосконаленням їх технології. Цим проблемам присвячені роботи: Н.В. Попова, В.В. Ткаченко, В.М. Стрижевської, К.П. Мирзянової, О.Д. Луфаренко, В.А. Козлова та інших. Проте роботи з удосконаленням технології батончиків желейних з використанням меду та борошна кунжутного відсутні.

Таким чином, удосконалення технології батончиків желейних з використанням меду та борошна кунжутного є актуальним завданням

сьогодення. Це є особливо важливим з урахуванням сучасної тенденції до зменшення споживання цукристих речовин та розроблення більш здорових харчових продуктів. Мед має приємний смак і відомий своїми корисними властивостями, такими як антиоксидантність і протизапальні ефекти.

Кунжутне борошно володіє своїми унікальними характеристиками, які роблять його цінним інгредієнтом для желейних батончиків. Воно містить високу кількість жирів, зокрема ненасичених жирних кислот, які позитивно впливають на роботу серцево-судинної системи людини. Крім того, кунжутне борошно є джерелом білка, вітамінів та мінералів, таких як залізо, кальцій та магній, які покращують функцію кісток, енергетичний обмін та імунітет.

Поєднання меду та кунжутного борошна у технології батончиків желейних дозволяє досягти дві важливі мети. По-перше, така комбінація продуктів забезпечує готовий продукт природним підсолоджувачем без використання штучних добавок або надмірної кількості цукру. По-друге, вона додає високу харчову та біологічну цінність батончикам завдяки багатому вмісту жирів, білків, вітамінів та мінералів, що позитивно впливає на здоров'я та добробут споживачів.

РОЗДІЛ 1 НАУКОВІ ПЕРЕДУМОВИ УДОСКОНАЛЕННЯ БАТОНЧИКІВ ЖЕЛЕЙНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕДУ ТА БОРОШНА КУНЖУТНОГО

У даному розділі представлений аналіз сучасних технологій та перспективи виробництва батончиків. Наведені особливості хімічного складу, структури та функціональних властивостей полісахаридів для виробництва батончиків. Запропоновані шляхи удосконалення та описані перспективи застосування злаків та фруктів у поєднанні зі структуроутворювачами полісахаридної природи у технології батончиків. Наведена характеристика функціонально-технологічних властивостей агару в композиції з гліцерином. Представлений аналіз сучасного ринку желеутворювачів для виготовлення батончиків желейних.²¹

1.1 Аналіз сучасних технологій та перспективи розвитку виробництва батончиків

Важливим питанням є виготовлення та реалізація продукції належної якості у відповідній упаковці і в Україні для локальних споживачів, і за кордоном, що буде вкрай необхідним у разі вступу до ЄС. Необхідно також налагодити стосунки і з державами, які не досить лояльно ставляться до продукції українського виробництва. Хоча, і за таких умов теперішній стан ринку кондитерської промисловості можна визначити стабільним завдяки діяльності кількох великих підприємств. Кондитерські вироби є традиційно популярними в Україні. При рівні споживання 15,9 кг на душу населення на рік, країна є 8-ою у світі за споживанням кондитерських виробів на душу населення. Тому, стабільно високий попит на цю продукцію та достатня забезпеченість власними сировинними ресурсами сприяли розвитку кондитерської галузі в Україні. Аналізуючи стан ринку в Україні, слід зазначити широкі перспективи для розвитку вітчизняної продукції, оскільки

існуючий на даний момент у країні рівень споживання на душу населення має великий потенціал для зросту. Український ринок насичений вітчизняним товаром даного виду продукції і має широкий асортимент.

У зв'язку зі зміною традиційного впорядкованого способу життя багато людей почали віддавати перевагу снековій продукції типу батончиків. Тепер їх розглядають як ефективні замітники традиційного сніданку та обіду, отже зростають вимоги до їхньої харчової цінності. Розробка збалансованих харчових продуктів, збагачених макро- та мікронутрієнтами, що сприяють покращенню стану здоров'я, зміцненню нервової системи, підвищенню розумової працездатності студентської молоді є актуальною проблемою. Сучасний ринок кондитерської промисловості представлений різноманітними технологіями зернових батончиків, розроблених з урахуванням сучасних підходів до створення харчових продуктів нового покоління.

Основою таких зернових батончиків зазвичай виступають зерна або пластівці різних злакових культур (суміш вівсяних, пшеничних, ячмінних, житніх, гречаних, кукурудзяних, рисових пластівців), а в якості збагачувальних добавок використовуються банан, курага, топінамбур, волоські горіхи, імбир. Підібрана сировинна композиція для створення збалансованого продукту – зернових батончиків обрана не випадково. Зерна злакових культур вважаються чудовим джерелом клітковини, а також вітамінів «А», «Е», групи «В» і цінних мікро-і макроелементів. Клітковина благотворно впливає діяльність всієї системи травлення, особливо на роботу кишечника. Вітаміни групи «В» беруть активну участь у енергетичному, вуглеводному, жировому, білковому та водно-сольовому обміні в організмі, сприятливо впливають на кровотворення, оскільки ці вітаміни беруть участь у синтезі білка гемоглобіну, який входить до складу еритроцитів.

Також у зв'язку із модою на правильне харчування та динамічний ритм життя сучасного споживача досить популярними є мюслі-батончики.

Батончики-мюслі стали популярними в західних країнах з середини 60-х років, коли зростав інтерес до правильного харчування. Батончики мюслі з'явилися набагато пізніше, але вони користуються високим визнанням, і це не випадково, адже вони мають багато переваг: продукт підходить для дороги; дуже легко зберігати; займає мало місця; має високу харчову цінність, завдяки чому підходить для перекусів «на бігу».

Проте аналіз компонентного складу батончиків мюслі на ринку з позначкою «фітнес» показав, що більшість з них не відповідають своєму призначенню, оскільки містять велику кількість підсолоджувачів, жиру, хімічних барвників, ароматизаторів, пшеничного борошна [1, 2]. Батончики мюслі на ринку на 35-40 % складаються зі звязуючого компонента, а в якості якого виробники використовують глюкозний сироп, жири, патоку, що теж підвищує калорійність продукту, а також підвищує рівень цукру в крові і підвищує апетит.

Сучасний споживач віддає перевагу батончикам не тільки для того, щоб втамувати голод, але й для того, щоб забезпечити організм необхідними поживними речовинами. У зв'язку з цим розробники ставлять собі за мету розробити рецепти злакових батончиків з використанням різноманітних високопоживних інгредієнтів.

На основі проведених експериментальних досліджень вченими «66» розроблено технологію продукту спеціального споживання батончиків «Vitabar»: «Военно-польовий» та «Захисник», яка відрізняється від відомих тим, що згідно розробленої нами технології спосіб отримання сухого сніданку батончик здійснюється наступним чином: до мальтодекстринового сиропу (кількість сухих речовин 75-85 %) при температурі 100-110оС (в сорочці) додають ядро соняшникового насіння після віджиму олії, суху сироватку, дієтичну добавку «Нутріо-гем» або порошок бурих водоростей (ламінарія, вакаме), подрібнені сушені фрукти. Суміш перемішують до однорідної маси,

охолоджують, формують батончики та глазурують шоколадом.

Авторами [3] розроблено рецептуру та запропоновано спосіб виробництва батончиків підвищеної енергетичної цінності із збалансованим складом основних поживних речовин, значною кількістю мікроелементів, вітамінів і біологічно активних речовин антистресової та імуностимулюючої дії. Споживання такого продукту сприяє надходженню в організм додаткових природних антиоксидантів.

Малайзійські вчені розробили зерновий батончик, основними компонентами якого є рис, фініки, родзинки, інжир, глюкозний сироп і мед [4]. Дослідники з Гаррісбурзького університету розробили енергетичний батончик, використовуючи кукурудзяне борошно, бобові та соєвий білок [5]. Вчені Сполучених Штатів Америки Coleman EK, Schmid E., Miklus M. розробили поживний батончик, який містить менше 110 ккал на 28 г порцію [6]. Іспанські дослідники з кафедри харчової інженерії разом із вченими Колумбійського університету розробили органічний зерновий батончик з екзотичною культурою кіноа [7]. Снековий батончик на основі борошна тапіоки був розроблений у Федеральному університеті Пара [8].

У світі активно ведуться дослідження в області розробки рецептур з високим вмістом білка [9, 10]; безглютенові злакові батончики [11]; злакові батончики, збагачені харчовими волокнами [12]. Все більше розробок стало пов'язано з лікувально-профілактичною спрямованістю продуктів харчування. Вчені з Університету штату Сан-Дієго розробили поживний батончик для жінок із ризиком розвитку остеопорозу [13]. активно ведуться дослідження в області розробки рецептур з високим вмістом білка [14, 15]; безглютенові злакові батончики [16]; злакові батончики, збагачені харчовими волокнами [17]. Все більше розробок стало пов'язано з лікувально-профілактичною спрямованістю продуктів харчування.

Вчені з Університету штату Сан-Дієго розробили поживний батончик для

жінок із ризиком розвитку остеопорозу [18]. активно ведуться дослідження в області розробки рецептур з високим вмістом білка [19, 20]; безглютенові злакові батончики [21]; злакові батончики, збагачені харчовими волокнами [22]. Все більше розробок стало пов'язано з лікувально-профілактичною спрямованістю продуктів харчування. Вчені з Університету штату Сан-Дієго розробили поживний батончик для жінок із ризиком розвитку остеопорозу [23].

Аналіз представлених на українському ринку асортименту батончиків мюслі показав, що найчастіше в переліку інгредієнтів перше місце займає глюкозно-фруктовий сироп (зв'язувальний компонент). Далі йдуть вівсяні пластівці, рис і кукурудза, сухофрукти, горіхи та сушені ягоди. А також дуже часто в списках інгредієнтів глазурованих батончиків можна зустріти шоколадну та йогуртову глазур.

У всьому світі вчені спантелічені створенням не тільки смачних, але і корисних снєків. Компонентний аналіз складу батончиків мюслі на ринку, представлених у дослідницьких проектах, показав, що в багатьох рецептурах розробниками використовується мед. Однак у всіх випадках пропонувалося вводити мед як ароматизатор або як засіб для надання продукту певної колірної характеристики. Дослідники [24] розробити новий рецепт батончика мюслі, в якому як сполучний компонент буде використано натуральний мед. Тоді як на сьогоднішній день виробники і розробники нових рецептів використовують цукровий, кукурудзяний і карамельний сиропи; агар; пальмова, рапсова і соняшникова олії; нерафінований цукор із цукрової тростини тощо [25-30] як сполучні, «склеювальні» та загущувальні компоненти.

Отже, аналізуючи стан ринку кондитерських виробів, зокрема виробництво батончиків, в Україні та світі, слід зазначити, що в цілому виробництво батончиків має передумови для успішного розвитку і високої конкурентоспроможності на внутрішньому і зовнішньому ринках. На провідних кондитерських фабриках вже проведено модернізацію, встановлено

найсучасніші виробничі лінії, значно підвищено технологічність і науко
місткість підприємств, що дозволить виробляти продукцію високої якості.

1.2 Теоретичні аспекти використання структуроутворювачів в технології корпусів батончиків

Структуроутворювачі є важливими компонентами у технології виробництва батончиків. Вони впливають на текстуру, структуру, стійкість та органолептичні властивості батончиків. Структуроутворювачі можуть бути природного походження (наприклад, пектини, агар, гумаарабік) або синтетичними речовинами (наприклад, геланові камеді, карбоксиметилцелюлоза) [31].

Використання структуроутворювачів дозволяє досягти бажаної консистенції, форми та структури батончиків. Вони допомагають покращити текучість та оброблюваність продукту, а також забезпечують стабільність форми та запобігають розпаду продукту. Крім того, структуроутворювачі можуть впливати на швидкість розчинення, розчинність та збереження поживних речовин у батончиках.

Вибір конкретних структуроутворювачів залежить від вимог до продукту, його складу та технологічних особливостей виробництва. Різні структуроутворювачі мають різні властивості, такі як гелеутворююча здатність, стабільність при високих температурах, в'язкість та сумісність з іншими інгредієнтами [32-34].

Правильний вибір структуроутворювачів і їх оптимальні концентрації дозволяють досягти бажаної текстури та структури батончиків, підвищити їх органолептичні властивості, забезпечити стійкість та тривалість зберігання продукту.

Дослідження впливу різних типів структуроутворювачів на властивості батончиків дозволяють зрозуміти їхній механізм дії та оптимізувати використання. Наприклад, геланові камеді можуть формувати стійкі 3D-структури, що допомагають утримувати форму батончика та запобігають слизкості. Пектини використовуються для стабілізації емульсій та підвищення

в'язкості, що впливає на м'якість та консистенцію продукту.

Окрім цього, важливим аспектом є вплив структуроутворювачів на фізико-хімічні та реологічні властивості продукту. Вони можуть впливати на розподіл вологи, гелеутворення та структуроутворення в процесі виробництва. Наприклад, додавання агар може поліпшити реологічні характеристики продукту, забезпечуючи більшу стійкість та однорідність [35].

Агар є одним з природних структуроутворювачів, який широко використовується в харчовій промисловості, включаючи технологію виробництва корпусів батончиків. Його отримується з червоної водорості і має високу гелеутворювальну здатність та стабільність при високих температурах. Використання агару у технології корпусів батончиків має декілька теоретичних аспектів, які варто розглянути:

1) агар має унікальну здатність утворювати гель при певних умовах. Додавання агару до рецептури батончика і його подальше гелеутворення при охолодженні веде до утворення стабільної структури, яка забезпечує корпусу батончика необхідну міцність і стійкість.

2) текстурна стабільність: агар забезпечує батончикам стійкість до змін текстури при зберіганні або впливі тепла. Це особливо важливо при виробництві батончиків з високим вмістом жирів або з емульсійними складниками, які можуть впливати на структуру і консистенцію продукту. Агар допомагає забезпечити однорідність текстури та запобігти відокремленню складників.

3) термостійкість: агар виявляє високу стійкість до температурного впливу, що дозволяє використовувати його в технологіях обробки батончиків, які включають нагрівання та охолодження. Це дозволяє досягти потрібної консистенції і стійкості продукту під час виробництва і зберігання.

4) сумісність з іншими інгредієнтами: агар може взаємодіяти з іншими компонентами рецептури батончика, такими як цукор, розчинні волокна,

ароматизатори та інші структуроутворювачі. Це дає можливість досягти бажаної текстурної стійкості та еластичності батончика, а також покращити його сенсорні якості [36 - 40].

Незважаючи на теоретичні переваги використання агару в технології корпусів батончиків, важливо враховувати і практичні аспекти. Для досягнення оптимальних результатів необхідно встановити правильні умови використання агару, такі як концентрація, температура гелеутворення та час стійкості гелю. Крім того, технологічні процеси виробництва батончиків, такі як змішування, формування та охолодження, повинні бути оптимізовані для досягнення бажаних результатів.

Дослідження у цій області спрямовані на вивчення впливу різних типів структуроутворювачів на якість батончиків. Вони включають проведення експериментів з різними концентраціями структуроутворювачів, їх комбінацій та режимами обробки для визначення оптимальних умов [41]. Дослідники аналізують фізико-хімічні властивості батончиків, такі як текстура, розмір, форма, структура, стійкість до розпаду та смакові якості.

Важливим аспектом досліджень є також оцінка ефективності використання структуроутворювачів з економічної та виробничої точок зору. Дослідники розглядають вартість, наявність на ринку та можливість масштабного виробництва структуроутворювачів, а також їх вплив на ефективність технологічних процесів та час виробництва [42].

Перспективи розвитку використання структуроутворювачів у технології корпусів батончиків полягають у вдосконаленні інгредієнтів, їх властивостей та використання новітніх технологій. Наприклад, введення наноструктурованих матеріалів або використання біологічно активних компонентів може відкрити нові можливості для поліпшення якості та функціональних властивостей батончиків [43].

Дослідження в цій галузі сприяють розумінню впливу

структуруювачів на властивості батончиків та допомагають виробникам удосконалювати технології виробництва [44]. Застосування оптимальних структуруювачів дозволяє отримати батончики з покращеними органолептичними характеристиками, кращою структурою та стійкістю.

Під час вибору структуруювачів необхідно враховувати їхні функціональні властивості, стабільність та безпеку використання. Важливо також забезпечити сумісність структуруювачів з іншими інгредієнтами, що використовуються у технології виробництва батончиків.

Дослідження в цій області можуть включати аналіз фізико-хімічних характеристик структуруювачів, їх впливу на текучість тіста, структуру та консистенцію батончиків, а також оцінку смакових властивостей та тривалості зберігання продукту. Додатково, можуть проводитися дослідження ефекту структуруювачів на поживну цінність та функціональні властивості батончиків [45].

Усі ці дослідження мають на меті поліпшення технології виробництва батончиків, забезпечення стабільної якості та задоволення споживачів. Результати досліджень можуть бути використані для оптимізації рецептур, вдосконалення технологічних процесів та виробничого обладнання, а також розробки нових продуктів з покращеними характеристиками.

Важливо зазначити, що вибір конкретного структуруювача або їх комбінації залежить від конкретних вимог до продукту, технологічних особливостей і споживацьких уподобань. Крім того, розуміння теоретичних аспектів використання структуруювачів допомагає розробити оптимальні рецептури та технологічні процеси, що сприяє створенню якісних і конкурентоспроможних батончиків на ринку [46, 47].

Таким чином, використання структуруювачів у технології корпусів батончиків є важливим елементом для досягнення високої якості продукту, забезпечення його стійкості та задоволення потреб споживачів. Неперервні

дослідження і вдосконалення в цій галузі дозволяють розширювати можливості і покращувати якість батончиків, сприяючи задоволенню смакових уявлень і очікувань споживачів.

1.3 Особливості хімічного складу, структури та функціональних властивостей полісахаридів для виробництва батончиків

Застосування структуроутворювачів в різних галузях харчової промисловості є досить поширеним явищем сьогодення. Особливим попитом структуроутворювачі користуються у м'ясній, рибній, молочній та кондитерській промисловості. Використання структуроутворювачів дозволяє виробляти продукцію з високими органолептичними, фізико-хімічними, структурно-механічними властивостями, що відповідним чином обумовлює розширення асортименту та підвищення якості готової продукції [48].

У сучасній літературі досить широко описано отримання гелевих сполук на основі полісахаридів. Досліджено прикладні аспекти таких систем. У той же час дані про вплив структурних особливостей полісахаридів на формування стійкої структури і дослідження її реологічних властивостей нечисленні.

Розробка технології виробництва батончиків з використанням структуроутворювачів полісахаридної природи є необхідною вимогою сьогодення з метою підвищення та стабілізації їх органолептичних і фізико-хімічних показників в процесі виробництва і зберігання.

Використання карагану в технологічному процесі виробництва продукції дозволить більш ширше обґрунтувати структуроутворення в харчових системах, а впровадження нової продукції дозволить розширити асортимент і показники ефективності використання загущувачів рослинного походження. Також важливими полісахаридами морських водоростей які зазвичай використовуються у виробництві харчових продуктів є альгінат, агар, агароза та карагенан. Альгінат є аніонним полімером, який був виділений з бурих

морських водоростей, і широко використовувався в харчових продуктах для підтримки структури в заморожених продуктах [49]. Карагенан – це сульфатований полісахарид, який зазвичай виділяють з червоних морських водоростей. Він широко використовується в харчовій промисловості як загусник, гелеутворювач, стабілізатор і гель для освіжувача повітря [50 - 53]. Необхідно виділити розчинник і метод сушіння, щоб надати більше переваг карагенану, оскільки він може видалити вміст вологи, що може забезпечити хорошу якість і отримати продукт з більш високою концентрацією поживних хімічних речовин.

Карагенан – це сульфатований лінійний галактан, який містить приблизно 15-40% складного ефіру сульфату, який складається з 3,6-ангідрогалактози та D-галактози та зв'язаний зв'язком β -1,4 та α -1,3 [54]. Існує багато типів карагенану які містять від 22 до 35% сульфатних груп, і класифікація карагенану базується на його розчинності в хлориді калію [55]. На властивості карагенану впливають за положенням і кількістю складноєфірних сульфатних груп, а також вмістом 3,6-ангідрогалактози. Чим вищий рівень ефіру сульфату в карагенані, тим нижча температура його розчинності та міцність гелю [56]. Каппа-карагенан містить 25-30% ефіру сульфату і 28-35% 3,6-ангідрогалактози. Лямбда-карагенан містить 32-39% ефіру сульфату і не містить 3,6-ангідрогалактози. Між тим, йота-карагенан містить 28-38% ефіру сульфату та 25-30% 3,6-ангідро-галактози [57, 58].

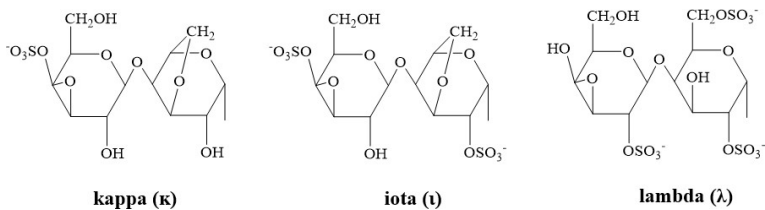


Рис. 1.1 – Хімічна структура різних типів карагенану

Карагенан є високомолекулярним матеріалом з високим ступенем полідисперсності. Як правило, різні види водоростей можуть виробляти різні види карагенану. Їх структура змінюється залежно від виду, сезону, географічного положення та віку популяції [59].

Карагенан, як один з основних сульфатованих полісахаридів морських водоростей, має численні біологічні характеристики. Цей полісахарид дуже цінний у харчових продуктах та дієтах для здорової імунної системи, а також можуть застосовуватись у галузі фармацевтики. Він продемонстрував протівірусну активність проти SARS-CoV-2, що викликає COVID-19, запобігаючи проникненню вірусу в клітину або перешкоджаючи реплікації вірусу. Таким чином, він може надати деякі нові інгредієнти для виробництва здорових функціональних продуктів, рецептур протівірусних добавок або засобів лікування вірусних респіраторних захворювань на основі водоростей, особливо для боротьби з COVID-19, і рекомендувати рішення цієї глобальної проблеми охорони здоров'я в майбутньому.

Останнім часом особливе місце в науковій і публіцистичній літературі займає рибний желатин, який є продуктом переробки рибної колагеновмісної сировини. Рибний желатин є аналогом тваринного желатину, який виробляють з кісток і м'якої колагеновмісної сировини великої рогатої худоби і свиней. На відміну від традиційного структуроутворювача, рибний желатин є безпечним інгредієнтом і не має ризику зараження організму людини збудниками інфекційних хвороб через органи і тканини жуйних тварин і продукти їх переробки. Крім того, риб'ячий желатин більш фізіологічний для людини і краще засвоюється організмом. Відповідність рибного желатину тенденціям етнокультурних особливостей виробництва продукції різного призначення дозволяє йому конкурувати з тваринним желатин [60, 61].

Нормативні документи характеризують реологічні властивості желатину за

такими фізико-хімічними показниками якості: температура плавлення, міцність утвореного гелю (желе), динамічна в'язкість розчину желатину. Рибний желатин має індивідуальні особливості і характеризується нижчим значенням температури плавлення желе в середньому на 4 °С, підвищеним значенням динамічної в'язкості розчинів рибного желатину в середньому на 7 мПас порівняно з нормативними вимогами до тваринного желатину. Знижена термостабільність характерна для риб'ячого колагеновмісного желатину і залежить в основному від амінокислотного складу. Реологічні властивості желатину знаходяться в прямій залежності від динамічної в'язкості розчину желатину, тобто чим більше значення динамічної в'язкості розчину желатину, тим вищі реологічні параметри і тим вище його ефективність [62].

Літературні джерела [63, 64] показують, що стабілізуючі властивості желатину можна регулювати шляхом модифікації, у результаті якої змінюється гідрофільний баланс макромолекул желатину та їх конформаційний стан.

Відомо, що так зване зшивання молекул желатину здійснюється не тільки шляхом обробки хімічними агентами, а й шляхом термічної обробки. Модифікація желатину і зміни його структурних елементів в результаті термічної обробки є фізичними модифікаціями і являють собою рівноважний процес глобулярних і фібрилярних конформаційних переходів. Для желатину характерні як фібрилярна, так і глобулярна третинні конформації [65].

Пектин – це полісахарид, що складається в основному з галактуронової кислоти, в якому розрізняють три області: гомогалактурона, рамногалактуронан I і рамногалактуронан II. Частота або кількість метильних груп дає різні ступені етерифікації пектину, що визначатиме його техно-функціональні властивості [66, 67]. Коли ступінь етерифікації пектину становить > 50 %, це вважається високим метоксилюванням, тоді як ступінь етерифікації < 50 % свідчить про низьке метоксилювання полісахариду [68]. Ділянки пектину (рамногалактуронан I і рамногалактуронан II) можуть містити нейтральні

залишки цукру, такі як арабіноза, галактоза, рамноза, ксилоза або глюкоза, хоча рамногалактуронан II зазвичай має дуже однорідну структуру порівняно з першим [69]. Цей полісахарид зазвичай має середню молекулярну масу від 50 до 150 кДа.

Пектин широко використовується в харчовій і фармацевтичній промисловості завдяки своїй універсальності, оскільки його можна використовувати для утворення гелів, як загусник, для забезпечення фізичної стабільності, як допоміжну речовину або як інкапсулюючий агент для контролю вивільнення активних інгредієнтів. [70].

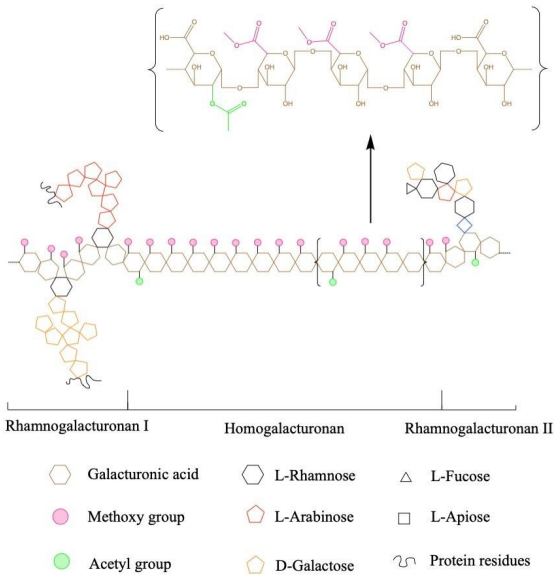


Рис. 1.2 – Типова структура пектину: вміст галактуронової кислоти та метоксигруп відповідно до експериментальних результатів, отриманих із пектину шкірки манго

Для більшості цих промислових застосувань, особливо в харчовій промисловості, перевага віддається пектину з високим ступенем етерифікації,

оскільки він забезпечить більшу гнучкість (наприклад, для виготовлення плівок). Крім того, ще одним важливим фактором, який слід враховувати, є те, що характерна в'язкість $[\eta]$ і ступінь етерифікації впливатимуть на здатність пектину утворювати гелі з відповідними структурою та текстурою (наприклад, для виготовлення батончиків).

1.4 Перспективи застосування злаків та фруктів у поєднанні зі структуроутворювачами полісахаридної природи у технології батончиків

Останніми роками спостерігається значне збільшення споживання «фаст-фудів» і снєків як відповідь на зміну способу життя населення. Споживачі шукають напівфабрикати, тобто продукти, які є доступними та готовими до вживання, або які потребують мінімальної підготовки. Серед цих продуктів батончики займають провідне місце:

Зернові батончики були представлені близько десяти років тому як «здорова» альтернатива кондитерським виробам, коли обізнаність споживачів щодо здоров'я та дієти стала реальністю [71]. Зерновий батончик – це продукт, отриманий із суміші або комбінації трьох або більше харчових продуктів, з'єднаних зв'язуючим інгредієнтом, що надає належну текстуру, і підготовлений для досягнення специфічних харчових цінностей і смаку. Учений [72] повідомив, що поживні та енергетичні батончики завойовують важливу частку ринку, спрямовану «для жінок», «спортсменів» та інших сегментів. Зв'язок між зерновими батончиками та здоровою їжею є тенденцією, яка вже задокументована в харчовій промисловості. Тенденція споживати більш поживну їжу замість солодощів і цукерок призвела до появи різноманітних типів батончиків, у тому числі таких варіантів, як шоколадне покриття або додавання різних фруктів і горіхів. Оскільки споживання пластівців перейшло від споживання за сніданком до споживання в будь-який час дня. Зернові культури відіграють все більш важливу роль у сучасному

способі життя та можуть бути важливими як продукти з низьким рівнем алергенів [73].

Харчова алергія викликає серйозне занепокоєння, оскільки вважається, що вісім типів звичайних продуктів викликають більшість харчових алергій: коров'яче молоко, яйця, риба, молоски, арахіс, горіхи, пшениця та соя. Целіакія, автоімунне захворювання, викликане непереносимістю глютену, який міститься в пшениці та інших злаках, таких як ячмінь і жито, є найпоширенішою харчовою непереносимістю, і її поширеність зростає.

Відомо, що більшість зернових батончиків які представлені на ринку, мають у своєму складі пшеницю, сухе молоко і цукор, а найбільш часто використовуваним інгредієнтом є сироп глюкози та практично не існує жодного зернового батончика, який би поєднував у своєму складі відсутність глютену, лактози та цукру разом.

Однак рецептура зернових батончиків, що відповідає цим обмеженням, вимагає ретельного відбору та дозування біополімерів зі специфічними функціональними властивостями. Багато біополімерів виявляють функціональні властивості при додаванні до харчових матеріалів. Прикладами є деякі гідроколоїди, які зазвичай використовуються як загусники або гелеутворювачі, такі як карбоксиметилцелюлоза (КМЦ), пектини, камедь ріжкового дерева (КРД), карагени, ксантанова камедь та інші [74]. Те, як ці біополімери функціонують, змінюється в основному залежно від складу харчових продуктів, до яких їх додають, наявності специфічних іонів, концентрації, синергетичних або антагоністичних ефектів з іншими гідроколоїдами та умов обробки їжі. Вони можуть відігравати багато різних ролей, використовуються як криопротектори, для контролю текстури, виробляти та стабілізувати піни чи емульсії, виробляти гелі з контрольованими фізичними властивостями, контролювати реологічні властивості рідкої їжі та зберігати харчові смаки серед інших властивостей [75].

КМЦ, пектини та КРД мають деякі спільні властивості: вони широко використовуються як харчові добавки для покращення текстури, для утримання води, для сприяння збереженню смаку та контролю терміну придатності, покращуючи загальну якість та продовжуючи термін зберігання [76]. Через низьку розчинність у холодній воді КРД зазвичай використовується, коли потрібен уповільнений розвиток в'язкості, досягнення високої в'язкості при нагріванні та охолодженні. КРД широко використовується в продуктах харчування та інших промислових застосуваннях, оскільки він може виробляти дуже в'язкі розчини при відносно низьких концентраціях. Часто використовується як загусник або модифікатор в'язкості, він сприяє зв'язуванню вільної води або стабілізації у випічці [77]. Інші гідроколоїди, такі як пектин, показали високу ефективність у продуктивності та якості безглютенового хліба, покращуючи об'єм хліба, твердість і пористість, а також еластичність м'якушки, що призводить до кращої прийнятності. Пектин розчиняється у гарячій воді, але його найважливіший потенціал полягає в тому, що він може утворювати гелі, що розтікаються, коли гарячий розчин охолоджується. Розчини КМЦ демонструють псевдопластичність. В'язкість розчинів КМЦ знижується з підвищенням температури і стабільна в діапазоні рН 3–11. Використовується як загусник і стабілізатор в нежирних продуктах, що призводить до вищої прийнятності [78].

Перспективним є також поєднання пітаї та маракуї з пектином для виробництва батончиків. Пітая є екзотичним фруктом завдяки своїй формі та дуже привабливим кольорам червоної м'якоті з рожевою шкіркою. Плід пітаї є багатим джерелом поживних речовин, вітамінів і мінералів, таких як білок, сира клітковина, вуглеводи, вітамін В2, В1, В3 і вітамін С. Крім того, у м'якоті фрукта містяться різноманітні біоактивні сполуки, включаючи беталаїни, флавоноїди, поліфеноли та каротиноїди.

Маракуя (є одним із тропічних фруктів, які використовуються у

фармацевтичній та косметичній промисловості в усьому світі через його користь для здоров'я та сильний ароматний смак. Маракую використовують в широкому спектрі продукції, включаючи морозиво, тістечка, желе, джем, йогурт, вино, чай, складні напої, оцет, соус із приправами, суповий бульйон тощо [79]. Завдяки унікальному смаку та аромату маракуй, її можна використовувати та поєднувати з іншими інгредієнтами для покращення кислотності та сенсорних властивостей кінцевого продукту, зокрема, фруктових батончиків. Таким чином, додавання маракуй в поєднанні з пектином як загусником може безпосередньо покращити колір продукту, біоактивні дії та споживання фруктового батончика.

Ще одним перспективним напрямом є використання кунжуту та фініків у поєднанні з желатином для виробництва желейних енергетичних батончиків. Сьогодні виробництво високоенергетичних і поживних продуктів для людей, що займаються різними видами спорту, а також військових є дуже важливим. Ця їжа важлива для покращення фізичної та розумової працездатності та запобігання захворюванням, пов'язаним з харчуванням, на додаток до забезпечення необхідними поживними речовинами та втамування голоду [80]. Суміш кунжутної пасти та фінікового сиропу є перспективним поживним та високоенергетичним продуктом завдяки високому вмісту білка, харчових волокон, ненасиченої олії та вмісту антиоксидантів кунжутної пасти, доповнених високим вмістом цукру, мінералів і вітамінів фінікового сиропу.

Кунжут - насіння відоме як хороше джерело олії (44–58%), білка (18–25%), вуглеводів (13,5%), клітковини (9%) і мінералів (~5%) [81]. Крім того, він є хорошим джерелом поліненасичених жирних кислот із значним вмістом міді, кальцію, заліза, фосфору, ніацину, тіаміну, лігнанів, сезамолу та сезамоліну.

Переваги кунжуту для здоров'я включають протиракову, антигіперчутливу та антиімунорегуляторну дії, антимутагенні ефекти, ефекти зниження рівня холестерину та профілактику високого кров'яного тиску. Кунжутна паста – це

колоїдна суспензія кунжутної олії у воді з ньютонівською псевдопластичною поведінкою. Цей продукт зазвичай змішують із фініковим сиропом, медом, концентратом шовковиці та виноградного соку та патокою з цукрових буряків.

Фініки – відомі як функціональна їжа яка багата вуглеводами, солями, мінералами, харчовими волокнами, вітамінами, жирними кислотами та амінокислотами. Деякі дослідження показали, що фініки виявляють антиоксидантну, антимуtagenну та протипухлинну дію [82].

Варто також відзначити перспективу виробництва солоних батончиків з використанням чіа та арахісу. Зернові батончики є диференційованою категорією харчових продуктів і відповідають різним сегментам споживачів, які прагнуть до здорового харчування. Такі батончики не тільки приносять користь здоров'ю, але й приємні на смак. Це, у свою чергу, сприяє розробці нових зернових батончиків з новими інгредієнтами та смаками, включаючи солоний смак.

Щоб отримати компактний і текстурований зерновий батончик, вибір звязуючого є серйозною проблемою для промисловості. Технологічні характеристики цієї їжі залежать від сполучної речовини, оскільки, окрім поживних і функціональних характеристик, вони повинні сприяти тому, щоб батончики мали приємну текстуру, не мали запаху та смаку, а також сприяли стабільності та збереження зернових батончиків [83].

Під час приготування солоних зернових батончиків складність стає ще більшою, оскільки, будучи солоними, солодкий присмак повинен бути відсутнім. Таким чином, перспективним є використання гуарової або ксантанової камеді як сполучної речовин для виробництва солоних батончиків.

Ще одним перспективним напрямком виробництва батончиків є використання саподіли та пектину у їх рецептурі. Саподіла – це недостатньо використовуваний тропічний фрукт. Незрілі плоди тверді, клейкі та багаті таніном, тоді як стиглі плоди м'які та соковиті, з солодким смаком та

привабливим помаранчевим кольором, що робить їх чудовим десертним фруктом. Плоди саподіли, будучи гарним джерелом вітамінів та інших поживних речовин, недостатньо використовуються як функціональна харчова сполука. Пектин є важливим інгредієнтом різноманітних фруктових батончиків. Дослідники виявили, що додавання пектину до фруктових батончиків значно покращує їх текстуру, але зменшує вміст вологи, активність води та швидкість висихання [84].

Оброблена саподіла з різною концентрацією пектину може збільшити терміни зберігання фруктових батончиків, а також покращити їх текстуру, твердість, пружність та жування без істотного впливу на харчову цінність і колір.

1.5 Характеристика функціонально-технологічних властивостей агару в композиції з гліцерином

Функціонально-технологічні властивості полімерів, як синтетичних так і природних, становлять інтерес і з теоретичних, і з практичних позицій. Теоретичний аспект пов'язаний з розвитком теорії прояву реологічних властивостей розчинів полімерів та пошуком загальних закономірностей. Практична складова спрямована на пошук емпіричних залежностей реологічних властивостей розчинів полімерів від складу, будови та походження полімеру, що вивчається як об'єкт реологічних процесів. Особливий практичний інтерес викликають реологічні характеристики розчинів індивідуальних природних полімерів та їх сумішей. Такі речовини знайшли широке застосування у різних областях. Вони цікаві з погляду потенціалу їх використання у харчовій промисловості [85]. Як і для більшості природних високомолекулярних сполук, структура агар-агару встановлена досить повно.

Агар-агар – суміш, принаймні, двох полісахаридів – агарози та агаропектину. Агароза, що входить до складу агар-агару (50-80%), являє собою

лінійний полісахарид, побудований із строго чергуються залишків 3-О-заміщеної β -D-галактопіранози (зрідка 6-О-метил- β -D-галактопіранози) і 4-О-заміщеною 3,6-ангідро- α -L-галактопіранози. Докладніше дані про будову агару наведено у низці останніх публікацій [86]. Будова базового полімерного ланцюжка у агару, отриманого з різної за походженням сировини, відрізняється неістотно.

Високу здатність до гелеутворення пояснюють по-різному. Багато дослідників схильні вважати відповідальним за виключно високу в'язкість і схильність до гелеутворення, в розчинах з невисокою концентрацією, агарозу, яка відрізняється високою структурною організацією та утворює велику кількість упорядкованих водневих зв'язків [87].

Вважається, що гелеутворення у розчинах агар-агару обумовлено двоступінчастим механізмом: конформаційним переходом «спіраль – клубок» при охолодженні водного розчину агару, де молекули гомогенно розподілені [88].

Гліцерин - це простий представник трьохатомних спиртів, є прозорою, в'язкою рідиною, що має відмінну гідроскопічну здатність (можливістю розчинятися у будь-яких водних і спиртових розчинах). Солодкий смак гліцерину – одна з його найбільш впізнаваних характеристик. Фактично він вважається майже таким же солодким, як інші рафіновані цукри (60% від солодкості сахарози). Але при цьому він менш калорійний. А ще гліцерин, на відміну від сахарози, не є поживою для бактерій у ротовій порожнині, які викликають карієс. Низький глікемічний індекс в гліцерині поєднується з високою калорійністю, тому його можуть додавати в продукти для діабетиків.

В харчовій промисловості гліцерин додають у більшість напівфабрикатів, цукерки, лікери, морозиво. Часто його використовують для приготування кондитерської мастики та глазурі, які завдяки цьому стають більш еластичними та краще тримають форму.

У харчовій промисловості використовується як емульгатор для запобігання розділенню жиру та води. Це дозволяє створювати стабільні однорідні емульсії з більш тривалим терміном зберігання. Наприклад, при випіканні хліба емульгатори часто мають ключове значення для текстури, вологості, пишності та терміну зберігання продукту.

Великий інтерес викликають дослідження авторів [89] щодо розробки харчової плівки на основі агару та гліцерину. Дослідниками встановлено, що концентрація агару та гліцерину та їх взаємодія суттєво впливають на товщину плівок ($p < 0,05$). Збільшення товщини плівок через ефект основного матеріалу може бути пов'язане з унікальними колоїдними властивостями сполуки, такими як згущування і суспендування агенту, а також взаємодії між компонентами.

Додавання концентрації гліцерину при виготовленні їстівної плівки також призвело до збільшення товщини плівки. Це спостереження узгоджується з [90], що покращення товщини завдяки додаванню гліцерину відбувається тому, що молекули гліцерину займатимуть порожнечі в матриці та взаємодіятимуть із їстівним плівкоутворюючим полімером, що спричиняє збільшення відстані між полімерами, таким чином покращуючи товщину плівки. Вчені [91] повідомили, що плівкоутворюючий розчин із вищими концентраціями гліцерину має вищий вміст сухої речовини, що призводить до більш товстої плівки. Крім того, висока концентрація гліцерину може певною мірою збільшити здатність поглинати вологу і може спричинити збільшення товщини плівок через процес набухання.

Також дослідниками [92] було досліджено вплив агаро-гліцеринового розчину на властивості розчинення харчової плівки. Встановлено, що концентрація агару та гліцерину вплинула на розчинність плівки ($p < 0,05$). Збільшення концентрації агару обернено впливало на розчинність плівок. Це викликано підвищеним вмістом нерозчинних твердих речовин з агару та збільшенням кількості зв'язків між молекулами в розчині їстівної плівки.

Поліпшення розчинності плівки за рахунок впливу підвищення

концентрації гліцерину, зумовленого гідрофільними та гігроскопічними властивостями гліцерину. Дослідники [93] повідомили, що підвищення розчинності плівок зі збільшенням концентрації пластифікатора можна пояснити гідрофільними властивостями пластифікатора, де суха речовина, розчинена у воді, ймовірно, утворюється пластифікатором. Отже, збільшення вмісту гліцерину в їстівній плівці збільшить вміст сухої речовини, розчиненої у воді, тим самим збільшуючи розчинність плівок. Вчені [94] припустили, що покращення розчинності плівок через збільшення концентрації гліцерину викликано гігроскопічними властивостями гліцерину, які притягують і зв'язують молекули води, таким чином підтримуючи змочування поверхні плівки та поглинання вологи. Висока розчинність плівки з гліцериновим пластифікатором пояснюється тим, що гліцерин має сильну спорідненість до молекул води, а також низька молекулярна маса полегшує входження гліцерину між полімерними ланцюгами, тим самим збільшуючи об'єм вільного простору між ланцюгами. Результати показали, що найвищу розчинність їстівних плівок було отримано при поєднанні 1% агару та 15% гліцерину. Розчинність отриманих їстівних плівок була відносно високою в межах 49,9-75,4%.

Викликає також інтерес дослідження гідрогелів агару з використанням гліцерину для оболонки м'ясних капсул які провели дослідники [95]. Було вивчено вплив гліцерину на динамічну в'язкість агарового розчину. Встановлено, що додавання до складу гелю пластифікатору гліцерину незначно впливало на в'язкість гелю ($p > 0,5$). На основі отриманих даних, оптимальна в'язкість агарового гелю була досягнута для наступного співвідношення компонентів гелю (%): агар, 5, гліцерин 3,6; цитрат натрію 2,3; лимонної кислоти 0,3.

В'язкість досліджуваних агарових гелів залежала від швидкості зсуву. В'язкість гелю різко падала, якщо швидкість зсуву зростала. Така залежність свідчить про структурованість досліджуваних систем. Встановлено, що

дотичне напруження спочатку різко, а потім плавно зростає зі збільшенням швидкості деформації до значень, що відповідають повному руйнуванню структури системи.

Вченими [96] досліджено вплив концентрації агару та гліцерину на міцність агарових плівок. Встановлено, що міцність збільшувалась з додаванням концентрації агару, тоді як концентрація гліцерину не мала суттєвого впливу. Це пояснюється тим, що концентрація агару в розчині забезпечує більшу спорідненість для більшої кількості водневих зв'язків, утворених на їстівній плівці. Науковці [97] повідомили, що агар відрізняється від інших полісахаридів, де він може утворювати тривимірний мережевий гель, який може призводити до утворення щільної плівки, коли волога випаровується.

Проте зі збільшенням концентрації гліцерину міцність агарової плівки мала тенденцію до зниження. Таку тенденцію, також спостерігав [98], який стверджував, що додавання гліцерину при виготовленні їстівної плівки може зменшити її міцність через зменшення взаємодії між молекулами води та агаром. Крім того, збільшення концентрації пластифікатора збільшило вміст вологи в плівці через її високу гігроскопічність, що також сприяє зменшенню сил між сусідніми макромолекулами.

Дослідниками [99] також вивчено вплив концентрації агару та гліцерину на властивість подовження при розриві агарової плівки. Встановлено, що концентрація агару суттєво вплинула на подовження при розриві агарової плівки ($p < 0,05$), тоді як концентрація гліцерину та взаємодія між концентраціями агару та гліцерину не мали суттєвого впливу ($p > 0,05$). Збільшення концентрації агару в розчині плівки збільшить вологоутримуючу здатність, тим самим покращуючи подовження при розриві. Концентрація, тип основного матеріалу та розчинник, що використовуються у виробництві плівки, впливають на подовження та міцність при розриві плівки.

Найвищий ступінь подовження при розриві отримано з 3% агару та 10% гліцерину. Підвищення концентрації гліцерину до 10% має тенденцію до збільшення ступеню подовження при розриві через зменшення міжмолекулярних взаємодій між полімерними ланцюгами, що впливає на збільшення подовження та гнучкості плівки. Збільшення кількості гліцерину зменшить силу міжмолекулярних сил, які посилюють рухливість між молекулярними ланцюгами та призводять до збільшення подовження. Автори [100] повідомили, що збільшення вмісту пластифікатора до певної концентрації збільшить подовження; для плівки з гліцериновим пластифікатором збільшення подовження відбувалося лише при концентрації 40%.

1.6 Аналіз сучасного ринку гелеутворювачів для виготовлення батончиків

Харчові гідроколоїди охоплюють широкий спектр гідрофільних біополімерів, таких як білки, полісахариди та їх похідні. Вони незамінні для приготування та обробки наших повсякденних харчових продуктів, наприклад, напоїв, джемів, заправок, тістечок, локшини, шинки та більш складних функціональних харчових продуктів. Важливість гідроколоїдів для харчової промисловості, на наш погляд, не була повністю визнана та досліджена. Незважаючи на те, що гідроколоїди часто використовуються як другорядні компоненти харчових продуктів, вони завжди виконують важливі функції. Вони не тільки надають харчовим продуктам бажану структуру, стабільність і смакові якості, але й забезпечують біоактивність і користь для здоров'я, до якої наполегливо прагне споживач [101].

Харчові гідроколоїди демонструють різноманітний потенціал у застосуванні в харчовій промисловості, дієтології та біомедицині. Вони можуть діяти як загусники, структуроутворювачі та утворювати гелі з контрольованими фізичними властивостями та функціями. Вони також можуть бути використані як стабілізатори для різних дисперсій і транспортні носії для біоактивних

інгредієнтів. Крім того, багато гідроколоїдів, наприклад, білки сироватки або харчові волокна, володіють потенційною користю для здоров'я та можуть забезпечувати основні та необхідні поживні речовини для підтримки життєдіяльності людини [102].

Гідроколоїди використовуються в різноманітних харчових сумішах для покращення їх якості та терміну зберігання. Двома основними застосуваннями гідроколоїдів є загусники та гелеутворювачі. Що стосується загущення, то вони використовуються в багатьох харчових системах, таких як підливи, супи, соуси, заправки для салатів і начинки. Що стосується гелеутворення, гідроколоїди можна використовувати в таких продуктах, як желе, джем, мармелад, низькокалорійні гелі або реструктуризовані харчові продукти. Гелеутворення – це процес, при якому полімерні ланцюги зшиваються, утворюючи тривимірну (3D) мережу, яка захоплює воду всередині себе [103]. Харчові гідроколоїди широко використовуються як гелеутворювачі для отримання харчових гелів з прийнятними властивостями, особливо властивостями текстури.

На сучасному ринку існує безліч гідроколоїдів, що використовуються як гелеутворювачі, такі як модифікований крохмаль, агар, карагенани, пектин, геланова камедь, альгінат, курдлан. Гелі з широким діапазоном властивостей можна отримати в залежності від умов, які використовуються для формування гелю. Деякі гелі крихкі, тобто ламаються при невеликій деформації, тоді як інші деформуються і не зруйнуються навіть при дуже великій деформації. Вони можуть бути прозорими або також непрозорими [104].

Агар добувають із червоних морських водоростей і використовується в продуктах харчування більше 350 років. Він нерозчинний у холодній воді і гідратується при кип'ятінні. Охолоджуючі розчини нижче приблизно 40° С утворюють дуже тверді крихкі гелі, які можна розплавити при нагріванні вище 85° С. Застосування в харчових продуктах включає водяні десертні гелі, заливне, кондитерське желе, м'ясні консерви, глазури, гелі для кондитерських

виробів і десерти. Агар - це гідроколоїд морських водоростей, або фікоколоїд, який давно використовується як гелеутворююча, згущувальна та стабілізуюча харчова добавка [105].

Здатність утворювати оборотні гелі шляхом простого охолодження гарячих водних розчинів є найважливішою властивістю агару. Ця здатність до гелеутворення призвела до великої кількості практичних застосувань, де агар використовується як харчова добавка або в інших цілях мікробіології, біохімії чи молекулярної біології, а також у промисловості.

Найважливіші переваги агару в різних харчових продуктах походять від характерної твердої текстури та термостійкості гелів, стабільності в кислотних умовах і обмеженої реакційної здатності до інших харчових компонентів.

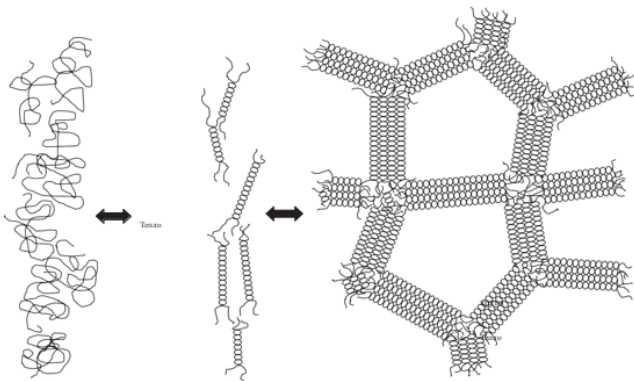


Рис. 1.3 – Утворення агарового гелю.

Незважаючи на тривалість використання агару в харчових продуктах, варто відзначити, що харчове застосування агару приурочене до певних географічних регіонів світу або для приготування кулінарних страв, традиційних для певних культур. Можна використовувати агар для десертів, використовуючи ананас або інші фрукти, які містять ферменти, що розщеплюють білок і запобігають використанню желатину для таких десертів.

Також . агар добре зарекомендував себе стабілізатором глазурі, оскільки гаряче покриття швидко схоплюється при нанесенні на продукт і міцно зв'язує воду, щоб запобігти висиханню поверхні та розтріскуванню.

Карагенани - це природні полісахариди, отримані з морських водоростей (Rhodophyceae). Вони в основному складаються з цукрових одиниць D-галактози та 3,6-ангідро-D-галактози з сульфатом як основним заступником, а також деякими метиловими ефірами. Вони широко використовуються в харчовій промисловості головним чином як гелеутворювачі, загусники, стабілізатори та агенти, що зв'язують білки [106].

Ефективність карагану в харчовій промисловості в основному зумовлена його властивостями загущення, гелеутворення та стабілізації. Сильна здатність карагану зв'язувати білок робить його більш придатним для молочних і м'ясних продуктів. Поліпшені властивості твердості та текстури сприяють ковбасам та емульгованим продуктам, тоді як зв'язування вологи, синерезис та покращені властивості нарізання м'ясних продуктів сприяють його гелеутворенню [107].

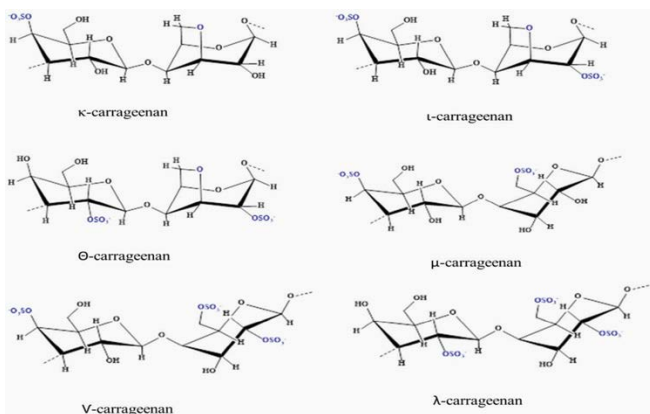


Рис. 1.4 – Хімічна будова різних типів карагану.

Карагенан зазвичай використовується в багатьох харчових і нехарчових

цілях. У приготуванні соєвих напоїв карагенан забезпечує стабільну однорідну суспензію нерозчинних твердих речовин для забезпечення високоякісного готового продукту із подовженим терміном придатності, які зберігаються в холодильнику та в асептичних умовах. Карагенан у поєднанні з іншими полісахаридами, такими як камедь ріжкового дерева, крохмаль і конжакове борошно, забезпечує серію плавких і неплавких гелів і гелевих текстур, які відповідають вимогам відповідно до необхідних застосувань.

Також відомо, що карагенани є більш ефективними у вищих концентраціях із покращеною функціональністю нежирних сосисок [108]. У плавленому сирі важливу роль відіграють гелеутворювальні властивості та реакційна здатність білка, куди включені емульгуючі солі для контролю температури плавлення шляхом збереження твердості та відчуття у роті.

Геланова камедь є позаклітинним аніонним полісахаридом, що виробляється бактерією *Sphingomonas elodea*. Наявність або відсутність ацильних груп у гелановій камеді змінює її фізичні та функціональні властивості. Геланова камедь просто диспергується в холодній і гарячій воді. Коли концентрація гелану в розчині висока, він утворює сітчасту структуру, яку називають гелем, що розбирається. Однак якщо концентрація гелану низька, він утворює так званий рідкий гель [109].

Геланова камедь корисна для виробництва водних гелів (як і деякі інші харчові гідроколоїди). Здатність її розчинів суспендувати частинки при низьких концентраціях гідроколоїду (без створення високої в'язкості) робить його корисним як стабілізатор у поживних і двофазних напоях. Її можна використовувати для виготовлення жувальних цукерок завдяки його гелеутворюючій здатності, видатному виділенню смаку та стабільності кислоти. Здатність геланової камеді утворювачі гелі без високого вмісту розчинних твердих речовин використовується при приготуванні фруктових начинок, особливо тих, які будуть подаватися гарячими [110].

Також геланову камедь можна використовувати як стабілізатор сметанно-йогуртових виробів. Гелан можна додавати в хлібобулочні суміші (наприклад, суміші для брауні, тортів і кексів), щоб скористатися тим фактом, що при кімнатній температурі він помітно не гідратується і, таким чином, збільшує в'язкість тіста. Однак він гідратується під час нагрівання та утримує вологу у випеченому продукті. Його властивість утримувати вологу також можна використовувати при складанні поживних батончиків [111].

Отже, аналіз сучасних технологій та перспектив розвитку виробництва батончиків, підтверджує важливість дослідження полісахаридів як потенційних структуроутворювачів у технології виготовлення батончиків. Особливості хімічного складу, структури та функціональних властивостей полісахаридів, а також їх переваги в поєднанні зі злаками та фруктами роблять їх привабливими інгредієнтами для створення нових продуктів.

Аналіз функціонально-технологічних властивостей агару в композиції з гліцирином виявив потенціал цього поєднання для створення структурних компонентів батончиків. Результати аналітичних досліджень підтверджують, що агар може використовуватися як стабілізатор та забезпечувати необхідну текстуру продукту, що сприяє поліпшенню якості батончиків.

Аналіз сучасного ринку структуроутворювачів показав, що існує широкий вибір інгредієнтів, які можуть використовуватися для виробництва батончиків з різноманітними текстурами та властивостями.

На підставі проведеного аналізу можна зробити висновок, що дослідження агару та інших структуроутворювачів полісахаридної природи має великий потенціал для подальшого розвитку виробництва батончиків з покращеними властивостями. Ці результати можуть бути корисними для виробництва здорових, смачних і функціональних батончиків, що задовольняють потреби споживачів у збалансованому харчуванні та активному способі життя.

РОЗДІЛ 2. НАУКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОТРИМАННЯ БАТОНЧИКІВ ЖЕЛЕЙНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕДУ ТА БОРОШНА КУНЖУТНОГО

У цьому розділі, на основі теоретичних та експериментальних досліджень, було визначено інноваційний підхід до удосконалення батончиків желейних з використанням меду та борошна кунжутного. Крім того, були проведені дослідження, спрямовані на вивчення міцності структури гелів. В рамках цих досліджень були досліджені функціонально-технологічні властивості розчинів та гелів, зокрема на основі агару у поєднанні з гліцерином.

Поміж інших результатів, у цьому розділі були науково обґрунтовані технологічні параметри для отримання запропонованих нами желейних батончиків. Також були проведені реологічні, фізико-хімічні та дериватографічні дослідження, також застосовано метод диференціально-скануючої калориметрії для аналізу модельних систем на основі агару у поєднанні з рецептурними компонентами начинки батончика, досліджені ІЧ спектри модельних гелевих систем на основі агару.

Ці дослідження дозволяють краще розуміти особливості і потенціал використання меду та борошна кунжутного у поєднанні з агаром в желейних батончиках, а також забезпечують наукове обґрунтування оптимальних технологічних параметрів для отримання якісного готового продукту.

2.1 Моделювання технології та складу батончика желейного з використанням меду та борошна кунжутного

Один з найбільш ефективних способів вирішення завдань, пов'язаних з розробкою та вдосконаленням технологічних процесів і нових видів продукції, полягає у застосуванні комплексного або системного підходу до цих проблем. Комплексний підхід передбачає використання методологічних принципів, які дозволяють розглядати окремі елементи як складову систему. З точки зору

теорії системного аналізу, технологія виробництва продукції є системою, а окремі етапи цієї технології – підсистемами. Оптимізація технологічних параметрів в межах кожної підсистеми, з одного боку, забезпечує отримання кінцевого продукту з гарантованим планованим рівнем якості, а з іншого – є обов'язковою умовою при проектуванні окремих ділянок технологічного процесу в межах системи.

Технологічну систему можна розглядати як великий комплекс, який включає всі аспекти виробництва, від початкових матеріалів до кінцевого продукту. Ця система складається з різних елементів, таких як сировина, матеріали, технологічні процеси, системи контролю якості та устаткування.

Однак, для більшого розуміння технологічних систем і здійснення ефективної оптимізації, моделювання виявляється основним методом. Це теоретичний підхід, який дозволяє спростити складність реальних технологічних процесів і концентруватися на деталях. Моделювання допомагає розробити план та вирішити технологічні завдання з мінімальними витратами, що дозволяє уникнути прийняття неправильних рішень.

Моделювання технологічних систем має на меті встановлення взаємозв'язку між технологічними параметрами виробництва та якістю напівфабрикатів і готової продукції, а також можливості регулювання і оптимізації параметрів технологічного процесу.

При дослідженні складних систем, таких як більшість технологічних процесів у харчовій промисловості, рівень формалізації та деталізації їх структури, властивостей та взаємодії з зовнішнім середовищем варіюється в залежності від ступеня нашого розуміння. Одними з моделей, які застосовуються при моделюванні таких систем, є «чорний ящик», «склад системи» та «структура системи».

Модель «чорний ящик» ґрунтується на ідентифікації систем, що виокремлюються з оточуючого середовища, а також на відображенні вхідних та

вихідних параметрів.

Залежно від типу технологічної системи, до вхідних параметрів можна віднести, наприклад:

- вид харчових інгредієнтів;
- кількість сировинних компонентів згідно рецептури;
- якість сировини;
- технологічні параметри, такі як температура, рівень рН, тривалість процесу, концентрація окремих компонентів, діаметр отворів в сіті тощо.

У даній графічній моделі вихідні параметри системи відповідають цілям системи, тобто тим параметрам, за якими буде оцінюватись ефективність розробленої технології.

До вихідних параметрів можна віднести наступне:

- органолептичні показники (конкретизуються в кожному випадку окремо);
- фізико-хімічні показники (вологість, кислотність, вміст поживних речовин тощо);
- структурно-механічні показники (в'язкість, міцність, пластичність, еластичність, пружність тощо);
- мікробіологічні показники;
- вихід продукції;
- собівартість тощо.

Варто відмітити, що назва моделі «чорний ящик» підкреслює повну відсутність інформації про внутрішню структуру «ящика». У цій моделі встановлюються, фіксуються та перераховуються лише зв'язки входу та виходу системи з середовищем. Навіть «стілки ящика», як межі між системою та середовищем, зазвичай не описуються в цій моделі, а тільки мають на увазі та визнаються як існуючі.

Модель «чорний ящик» батончика желейного з використанням меду та

борошна кунжутного наведена нижче.

На прикладі моделі «Чорний ящик», ми прагнемо показати якомога ширше опис всіх функцій, які відбувались в процесі приготування желейного батончика.



Рисунок – Модель «Чорний ящик»

Рис. 2.1 – Модель «чорний ящик» батончика желейного з використанням меду та борошна кунжутного

Систему, що представляється як «чорний ящик», сприймають як вхід для введення інформації та вихід для відображення результатів роботи. Передбачається, що стан виходів функціонально залежить від стану входів.

Вивчення системи за методом «чорного ящика» полягає в спостереженнях та експериментах зі зміною входних даних. Це дозволяє отримати певний рівень знань про досліджуваний об'єкт шляхом спостереження за реакціями системи на зовнішні впливи.

Модель «склад системи» надає інформацію про внутрішню структуру системи і описує, з яких підсистем та елементів вона складається.

Підсистеми можуть включати рецептурні компоненти, які групуються залежно від ролі, яку вони виконують у технологічному процесі виробництва розроблюваного продукту. Наприклад, це можуть бути основна сировина, добавки для регулювання функціонально-технологічних властивостей основної сировини, смакоароматичні добавки тощо. До елементів можна віднести конкретні компоненти сировини, властивості яких планується реалізувати під час технологічного процесу.

Побудова моделі «склад системи» базується на знаннях про властивості сировини, глибині вивчення досліджуваної проблеми та огляді літератури.

Модель «склад системи» розробляється поетапно на різних рівнях деталізації системи. Спочатку виділяються найбільші підсистеми, а потім їх функціональні складові – елементи підсистем та інше.

Модель «склад системи» батончика желейного з використанням меду та борошна кунжутного наведена нижче.

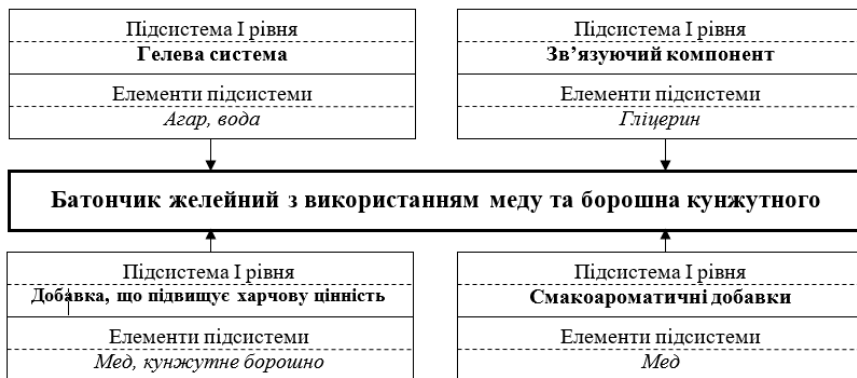


Рис. 2.2 – Модель «склад системи» батончика желейного з використанням меду та борошна кунжутного

Модель «структура системи» призначена для візуалізації взаємозв'язків або відносин між елементами розглянутої системи. Ця модель може розглядатись

як доповнення до моделі «склад системи», яка відображає самі елементи системи.

Однак, зазвичай в моделі структури не обмежуються лише переліком відносин між елементами, а також включають самі ці елементи. Тому модель структури є найбільш повною моделлю, яка охоплює як склад основних елементів, так і взаємозв'язки між ними. При побудові моделі структури виділяються цікаві види відносин, і на основі цих відносин вибираються елементи, що взаємодіють між собою.

Модель «структура системи» батончика желейного з використанням меду та борошна кунжутного наведена нижче.

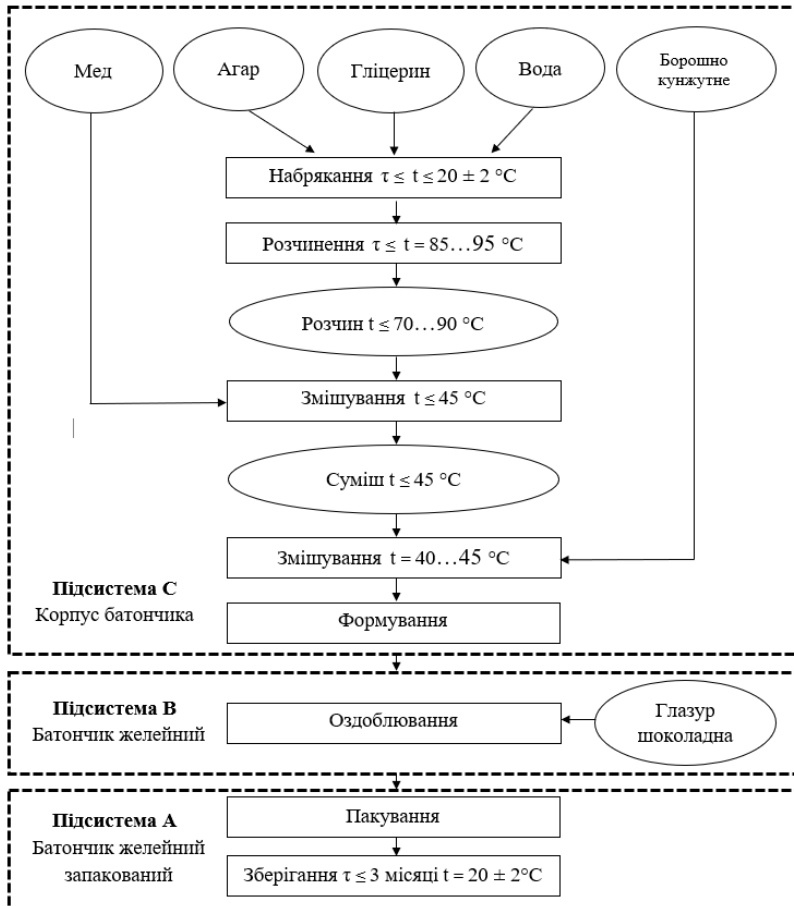


Рис. 2.3 – Модель «структура системи» батончика желейного з використанням меду та борошна кунжутного.

2.2. Вивчення міцності гідрогелів полісахаридної природи при додаванні гліцерину

Кондитерська промисловість – одна з провідних галузей харчової промисловості. За обсягом виробництва вона стоїть на другому місці в світі,

оскільки забезпечує випуск близько двох тисяч найменувань кондитерських виробів. В останні роки у споживачів істотно збільшився інтерес до харчових продуктів, що містять корисні для здоров'я людини нутрієнти та які характеризуються високою харчовою та біологічною цінністю [112].

З урахуванням сучасних тенденцій нами запропоновано модель інноваційної технології батончиків шоколадних з використанням меду та порошку кунжутного для використання їх в кондитерській галузі та ресторанному господарстві. Оскільки споживач особливу увагу звертає на органолептичні властивості продукту, перед нами стала задача отримання виробу з відповідними органолептичними властивостями та необхідними структурно-механічними властивостями начинки.

У технології запропонованого виробу в якості начинки буде використовуватись сумісне поєднання меду та порошку кунжутного, а також розчин агару з додаванням гліцерину, для отримання належних структурно-механічних показників корпусу. Використання агару в технологічному процесі виробництва корпусу з гелеподібною структурою потребує наукового обґрунтування, оскільки за взаємодії з гліцерином агар, за певних умов, здатен регулювати та надавати продукції заданих структурно-механічних характеристик.

Гелеутворювачі, які додають у харчові продукти та які утворюють необхідні структурно-механічні властивості продукту є агар, фуцеларан, каппа-карагенан, желатин. Проаналізувавши їх дію ми полягаємо, що для корпусу нашого продукту доцільно використовувати систему агар-гліцерин-вода, яка дозволить розробити корпус з необхідними структурно-механічними властивостями. Таким чином встановлено, що першочерговим завданням є визначення структурно-механічних властивостей, зокрема міцності, системи «агар-гліцерин-вода», а також науково обґрунтувати вибір даної системи в порівнянні з іншими гелеподібними системами.

У ході огляду зарубіжних та вітчизняних літературних джерел встановлено, що питанням вивчення міцності гелів агару та інших полісахаридів, а також впливу на них інших допоміжних речовин приділено багато уваги.

Ученими [113] були проведені реологічні дослідження агарових гідрогелів для створення оболонки м'ясних капсул. Об'єктами досліджень були зразки агарових гелів з різними допоміжними речовинами: гліцерином, сорбітом, лимонною кислотою, цитратом натрію, хлоридом натрію в різних концентраціях. В результаті обробки експериментальних даних було встановлено, що серед контролюючих факторів важливу ступінь впливу на в'язкість гелю мають добавки, які впливають на його міцність: вміст цитрату натрію (42,4 %, $p < 0,03$) та лимонної кислоти (18,2 %, $p < 0,02$). При цьому взаємодія цих же факторів також мала істотний вплив на в'язкість гелю. Внесення до складу гелю пластифікуючих добавок – гліцерину та сорбіту – не мало істотного впливу на в'язкість гелю ($p < 0,03$).

Досліджено [114] реологічні властивості водних розчинів агару, желатину та їх суміші для желейних виробів. Експериментально було визначено величини напруги зсуву, ефективну динамічну в'язкість цих систем в діапазоні швидкості зсуву $17-1021 \text{ c}^{-1}$ та інтервалі температур $24-50 \text{ }^\circ\text{C}$. При температурі $42 \text{ }^\circ\text{C}$ спостерігається слабка залежність в'язкості від швидкості зсуву. При переході із системи «вода - агар» до системи «вода-агар-желатин» в'язкість зменшується, що свідчить про факт «розрідження» системи «вода-агар» при додаванні до неї желатину. Для системи «вода-желатин» відзначено зменшення в'язкості з підвищенням температури.

Група учених [115] дослідила вплив агару на реологічні характеристики паст закусочних. Експериментальними дослідженнями реологічних показників сирної пасти було встановлено, що діапазон вмісту агару $1,3 \pm 0,1 \%$ в рецептурі є раціональним для забезпечення пастоподібної структури. Збільшення вмісту

агару спричиняє значному зниженню пластичності, підвищенню еластичності та зростанню пружності, що призводить до гумистої текстури продукту. Зменшення агару в рецептурі спричиняє суттєве зменшення модуля пружності та призводить до збільшення текучості структури продукту.

Дослідниками [116] було вивчено міцність структури змішаних гелів на основі агару з анфельції та грацілярії. Встановлено характерну залежність збільшення міцності гелів агару при додаванні желатину від 1 до 5 % у 1,18...3,56 разів – для агару з анфельції та 1,45...3,05 – для агару з грацілярії. Додаткове внесення 0,1 % хлористого кальцію дозволяє збільшити міцність зазначених зразків у 1,23...4,30 та 1,70...3,93 рази відповідно.

У роботі [117] досліджено реологічні властивості агарових гелів та вплив на них дисахаридів (сахароза) та моносахаридів (фруктоза). Встановлено, що сахароза та фруктоза дещо послаблюють структуру агарового гелю, проте його міцність залишається достатньо великою, що дозволяє використовувати їх при виробництві багатьох видів кондитерських виробів, що мають гелеподібну структуру.

У ході аналітичного огляду виявлено, що дослідження, які стосуються визначення структурно-механічних властивостей гелеподібних систем, у літературі мають розрізнений характер. Це обумовлює актуальність обраного напрямку.

Особливість технологічного аспекту використання полісахаридів (агару, желатину, фурцеллану, карагенану) у харчових продуктах, базується на їхній здатності надавати продуктам необхідних структурно-механічних властивостей.

У проведених нами дослідженнях були використані агар 1200 ТМ «Fujian Province» (Китай), фурцеларан ТМ Stagar (Естонія), желатин ТМ «Gelita» (Німеччина), капакарагенан, гліцерин ТМ BASF (Німеччина), для приготування розчинів використовували дистильовану воду.

Експериментально були дослідженні модельні системи «агар 1,0 %-вода»,

«фурцеларан 1,5 %-вода», «желатин 4,0 %-вода» та «капакарагенан 1,5 %-вода» при додаванні в ці системи гліцерину від 10,0 % до 50,0 %.

Систему «агар 1,0 %- вода» з додаванням гліцерину готували наступним чином. Наважку сухого компоненту всипали у воду за температури 20 ± 2 °С, перемішували, після чого вносили гліцерин в інтервалі 10,0...50,0 % з кроком в 10,0 % та залишали для набухання протягом 30-40×60 с. Далі на водяній бані нагрівали даний розчин при температурі 85-95 °С до повного розчинення агару. Після цього систему розливали у 3 бюкси та залишали при температурі 20 ± 2 °С у межах 300×60 с до утворення гелю.

Системи «фурцеларан 1,5 %-вода», «желатин 4,0 %-вода» та «капакарагенан 1,5 %-вода» готували за принципом наведеним вище. Сухий компонент всипали у воду за температури 20 ± 2 °С, перемішували, вносили гліцерин та залишали для набухання протягом 30-40×60 с. Далі розчин нагрівали за температури від 50 °С до 95 °С до повного розчинення відповідного сухого компоненту. Після цього відповідний розчин розливали у бюкси та залишали при температурі 20 ± 2 °С у межах 300×60 с до утворення гелю.

Дослідження міцності гелів визначали на приладі Валента після структуроутворення розчинів протягом 300×60 с за температури 20 ± 2 °С.

На рис. 2.4 наведено залежність міцності структури гелю на основі агару від вмісту гліцерину.

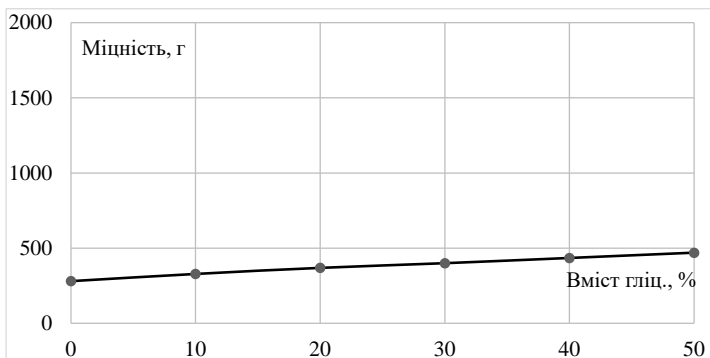


Рис. 2.4 – Залежність міцності структури гелю на основі агару від вмісту гліцерину

Як видно з рис. 2.4, при збільшенні вмісту гліцерину, міцність гелю на основі агару збільшується від $280,7 \pm 2,0$ до $470,2 \pm 2,0$ г. Досліджено, що міцність системи, яка містить 1,0 % агару, без внесення гліцерину, становить $280,7 \pm 2,0$ г. При додаванні до системи 10,0 % гліцерину, її міцність збільшується з $280,7 \pm 2,0$ до $328,6 \pm 2,0$ г. При збільшенні вмісту гліцерину до 20,0 %, міцність гелю збільшується з $280,7 \pm 2,0$ до $369,0 \pm 2,0$ г. Подальше внесення гліцерину в кількості 30,0, 40,0 та 50,0 % призводить до збільшення міцності гелю на $400,2 \pm 2,0$ г, $435,0 \pm 2,0$ г та $470,2 \pm 2,0$ г відповідно.

Таким чином можна стверджувати, що внесення гліцерину у систему, яка містить 1,0 % агару, позитивно впливає на структуру готового гелю, адже значно збільшує його міцність.

На рис. 2.5 наведено залежність міцності структури гелю на основі фурацелларану від вмісту гліцерину.

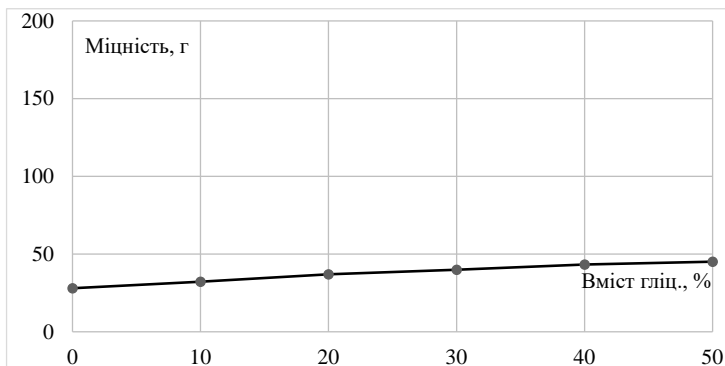


Рис. 2.5 – Залежність міцності структури гелю на основі фурацеларану від вмісту гліцерину

На кривій рис. 2.5 показано збільшення міцності гелю на основі фурацелларану від $28,0 \pm 2,0$ до $32,3 \pm 2,0$ г, при додаванні гліцерину в інтервалі 10,0...50,0 % з кроком в 10,0 %. Встановлено, що міцність системи, яка містить 1,5 % фурацелларану, без внесення гліцерину, становить $28,0 \pm 2,0$ г. При додаванні до системи 10,0 % гліцерину, міцність гелю збільшується з $28,0 \pm 2,0$ до $32,3 \pm 2,0$ г. При збільшенні вмісту гліцерину до 20,0 %, міцність гелю збільшується з $28,0 \pm 2,0$ до $37 \pm 2,0$ г. Подальше внесення гліцерину в кількості 30,0, 40,0 та 50,0 % призводить до збільшення міцності гелю на $40,0 \pm 2,0$ г, $43,3 \pm 2,0$ г та $45,1 \pm 2,0$ г відповідно.

Таким чином можна стверджувати, що внесення гліцерину у систему, яка містить 1,5 % фурацелларану призводить до збільшення міцності гелю, проте у порівнянні з системою на основі агару, вона характеризується досить низькою міцністю структури гелю.

На рис. 2.6 наведено залежність міцності структури гелю на основі фурацелларану від вмісту гліцерину.

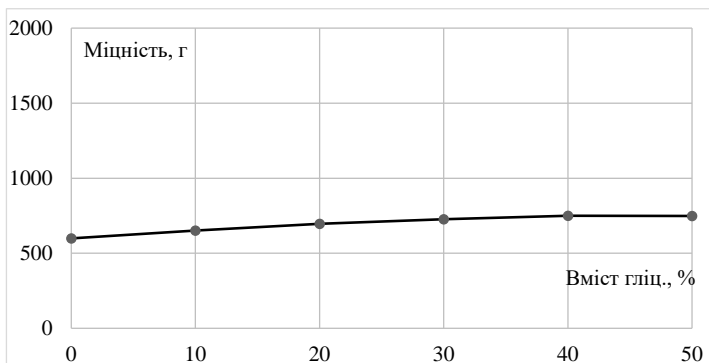


Рис. 2.6 – Залежність міцності структури гелю на основі капакарагенану від вмісту гліцерину

На рис. 2.6 видно, що при збільшенні вмісту гліцерину, міцність гелю на основі капакарагенану збільшується від $598,2 \pm 2,0$ до $748,6 \pm 2,0$ г. Досліджено, що міцність системи, яка містить 1,5 % капакарагенану, без внесення гліцерину, становить $598,2 \pm 2,0$ г. При додаванні до системи 10,0 % гліцерину, міцність гелю збільшується з $598,2 \pm 2,0$ до $650,5 \pm 2,0$ г. При збільшенні вмісту гліцерину до 20,0 %, міцність гелю збільшується з $598,2 \pm 2,0$ до $695,4 \pm 2,0$ г. Подальше внесення гліцерину в кількості 30,0 та 40,0 % призводить до збільшення міцності гелю на $727,0 \pm 2,0$ г та $750,1 \pm 2,0$ г відповідно. Додавання 50,0 % гліцерину у систему призводить до зменшення міцності гелю до $548,6 \pm 2,0$ г. Ймовірно, що при додаванні такої кількості гліцерину, деякі частинки сухого компоненту – капакарагенану не набухають, і в результаті під час нагрівання системи, повністю не розчиняються, тому міцність гелю зменшується.

Таким чином можна стверджувати, що при додаванні до 40,0 % гліцерину у систему, яка містить 1,5 % капакарагенану, міцність гелю збільшується та залишається високою. Збільшення кількості гліцерину до 50,0 % призводить до зниження міцності системи і є недоцільним.

На рис. 2.7 наведено залежність міцності структури гелю на основі

желатину від вмісту гліцерину.

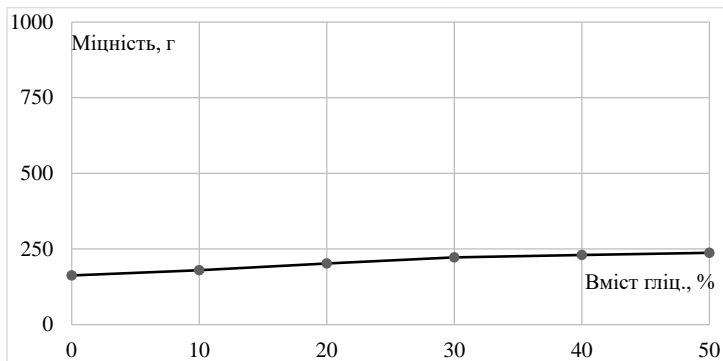


Рис. 2.7 – Залежність міцності структури гелю на основі желатину від вмісту гліцерину

Як видно з рис. 2.7, при збільшенні вмісту гліцерину, міцність гелю на основі желатину збільшується від $162,2 \pm 2,0$ до $237,0 \pm 2,0$ г. Досліджено, що міцність системи, яка містить 4,0 % желатину, без внесення гліцерину, становить $162,2 \pm 2,0$ г. При додаванні до системи 10,0 % гліцерину, її міцність збільшується з $162,2 \pm 2,0$ до $179,4 \pm 2,0$ г. При збільшенні вмісту гліцерину до 20,0 %, міцність гелю збільшується з $162,2 \pm 2,0$ до $202,1 \pm 2,0$ г. Подальше внесення гліцерину в кількості 30,0, 40,0 та 50,0 % призводить до збільшення міцності гелю на $222,0 \pm 2,0$ г, $229,8 \pm 2,0$ г та $237,0 \pm 2,0$ г відповідно.

Таким чином можна стверджувати, що внесення гліцерину у систему, яка містить 4,0 % желатину, позитивно впливає на структуру готового гелю, адже міцність його збільшується. Проте у порівнянні з системами на основі агару та капакарагенану, дана система характеризується нижчою міцністю структури гелю.

2.3. Дослідження динамічної в'язкості начинки для виробництва батончиків желейних

Важливою технічною властивістю для начинки батончика є в'язкість,

оскільки вона виступає як структурно-механічний бар'єр при утворенні та руйнуванні гелевої структури, що визначає її стабільність. Вона обумовлена внутрішніми силами зчеплення між молекулами і характеризує опір їх маси під впливом зовнішніх сил. Гелева маса на виробництві проходить процес змішування, перекачування, розливання, що призводить до її руйнування. Ступінь пошкодження залежить від багатьох факторів - кількості сухої речовини, складу та співвідношення рецептурних інгредієнтів, температури тощо [118].

В'язкість, структура, термозворотність і стабільність гідролоїдних дисперсійних розчинів залежать від їх типу і концентрації, температури і тривалості застигання, рН середовища, а також наявності і концентрації добавок. Для досягнення бажаного рівня в'язкості більшість полісахаридів мають діапазон концентрації від 0,1 до 3%. При використанні дрібнодисперсних порошків утворення гелю відбувається протягом 20-40 хвилин (для більшості полісахаридів). Слід пам'ятати, що швидкість набухання частинок сильно залежить від інтенсивності перемішування та температури, при якій система піддається впливу.

Впровадження наукових принципів зміни властивостей агару та поєднання його з іншими харчовими продуктами, такими як гліцерин, створить клас нових харчових продуктів з якісно зміненими функціональними властивостями.

Дослідженням реологічних властивостей агарових розчинів займалися багато вітчизняних та зарубіжних учених.

У ході огляду зарубіжних та вітчизняних літературних джерел встановлено, що питанням впливу температури на в'язкість агарових розчинів, а також впливу на них інших допоміжних компонентів приділено багато уваги.

Ученими [119] були проведені дослідження реологічних властивостей – в'язкості агарових гелів і впливу на них дисахаридів (сахароза) і моносахаридів (фруктоза). Досліджено, що в'язкість структури агарового гелю 1 %

концентрації (η_0) становить $38,113 \text{ Па}\cdot\text{с}$. Така міцність структури 1 % агарового гелю пояснюється тим, що висока концентрація агару сприяє сильній стабілізації прошарку дисперсного середовища, що знаходиться між молекулами агару та їх агрегатами, і завдяки цьому здійснюється безпосередній контакт частинок дисперсної фази, це сприяє утворенню найбільш міцної та одночасно крихкої структури агарового гелю 1 % концентрації.

У роботі [120] досліджуються фактори, що впливають на в'язкість агарових розчинів, до яких в основному відносять концентрацію та температуру. У ході дослідження встановлено, що концентрація агару, жорсткість води та температура розчину мають значний вплив на в'язкість розчину агару, тоді як рН розчину не має істотного впливу на в'язкість.

Метою авторів статті [121] дослідження реологічних властивостей розчинів агар-агару, приготованих з використанням води, підданої впливу електромагнітного поля з частотою від 30 до 170 МГц. Дослідження проводили при температурі: 25, 35 та 45 °С, концентрація змінювалася від 0,1 до 0,7 %, швидкість зсуву – в межах $100\text{--}1000 \text{ с}^{-1}$. Досліджено, що у переважній більшості випадків зниження в'язкості розчинів спостерігається в результаті впливу температури та електромагнітного поля. Температурна залежність в'язкості для розчинів, які підлягають і не піддаються впливу електромагнітного поля, має різноспрямований характер і істотно залежить, як від концентрації розчину, так і від швидкості зсуву, при якій проводилися вимірювання.

Групою учених [122] було досліджено реологічні характеристики меду та вплив температури на в'язкість. Результати показали, що мед, використаний у цьому дослідженні, показав псевдопластичні властивості текучості. Вплив температури на в'язкість меду показав, що в'язкість меду зменшується з підвищенням температури.

Авторами статті [123] було визначено залежності величин напруги зсуву від швидкості зсуву та розраховано ефективну динамічну в'язкість систем вода-

агар (ВА), вода-желатин (ВЖ) та вода-агар-желатин (ВАЖ) у діапазоні швидкостей зсуву $17-1021 \text{ c}^{-1}$ та інтервалі температур 298-323 К. Отримані залежності ефективної в'язкості для зазначених систем зменшуються з підвищенням температури та швидкості зсуву. При температурах вище 315 К спостерігається слабка залежність в'язкості від швидкості зсуву, що притаманно для ньютонівських рідин.

У роботі [124] досліджено реологічні властивості агарових гідрогелів. Агарові гелі готували шляхом змішування водного розчину агар-агару з гліцерином, сорбітом, лимонною кислотою, цитратом натрію та хлоридом натрію в різних концентраціях. Найбільш істотний вплив на в'язкість агарових гелів мали цитрат натрію, лимонна кислота, а також їх суміш. Додавання лимонної кислоти до агар-гелевої композиції зменшувало в'язкість, а додавання цитрату натрію збільшувало її.

У дослідженнях були використані агар 1200 ТМ «Fujian Province» (Китай), гліцерин харчовий ТМ BASF (Germany), мед соняшниковий та кунжутне борошно ТМ «Корисне борошно» (Україна), для приготування розчинів використовували дистильовану воду.

Систему «агар-вода-гліцерин» готували наступним чином. Наважку сухого компоненту всипали у воду за температури $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, перемішували, після чого вносили гліцерин та залишали для набухання протягом $30-40 \times 60 \text{ c}$. Далі на водяній бані нагрівали даний розчин при температурі $85-95 \text{ }^\circ\text{C}$ до повного розчинення агару. Після того як агар повністю розчинився вносили до розчину мед (модельний розчин «агар-вода-гліцерин-мед»), кунжутне борошно (модельний розчин «агар-вода-гліцерин-мед-кунжутне борошно») та ретельно перемішували. Дослідження впливу гелів визначали на ротаційному віскозиметрі.

Для встановлення раціональної концентрації основних рецептурних компонентів батончика шоколадного (агару, гліцерину, меду, кунжутного

борошна) досліджували динамічну в'язкість розчинів (рис. 2.8...рис. 2.10).

На кривій рисунку 2.8 показано збільшення в'язкості розчину «агар-вода-гліцерин» від $2,4 \pm 0,2$ Па \times с до $9,7 \pm 0,2$ Па \times с з додаванням гліцерину від 0,1 ... 0,5 % з кроком 0,1 %. В'язкість розчину, що містить 1 % агару без додавання гліцерину, становила $2,4 \pm 0,2$ Па \times с. При додаванні до розчину 0,1 % гліцерину в'язкість зросла до $3,9 \pm 0,2$ Па \times с. При збільшенні вмісту гліцерину до 0,2 % в'язкість зросла до 5,2 Па \times с. Подальше застосування 0,3, 0,4 і 0,5 % гліцерину призвело до збільшення в'язкості на $6,5 \pm 0,2$; $8,1 \pm 0,2$ і $9,7 \pm 0,2$ Па \times с відповідно.

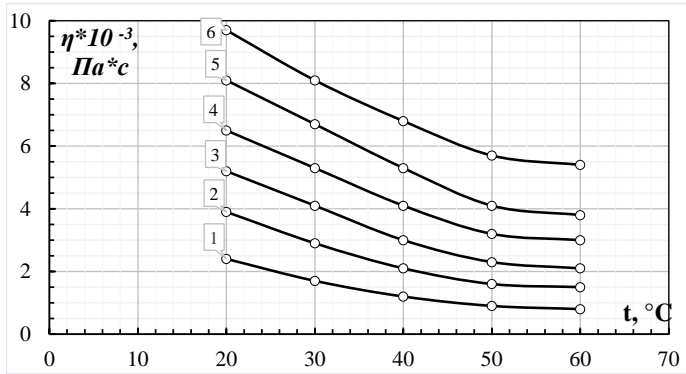


Рис. 2.8 – Вплив температури на динамічну в'язкість розчину «агар-вода» за концентрації агару 1 %; в композиції з гліцерином, % : 1–контроль; 2–0,1; 3–0,2; 4–0,3; 5–0,4; 6–0,5;

Визначено, що в'язкість системи «агар-вода-гліцерин» збільшується в 2,5 рази при додаванні концентрацій гліцерину вище 0,3±0,02 %, що може бути пов'язано з синергетичною взаємодією гліцерину з агаром, що сприяє утворення великої кількості міжмолекулярних водневих сполук. Збільшення концентрації гліцерину призводить до збільшення швидкості зшивання структури і занадто швидкого збільшення міцності, що ускладнює процес змішування.

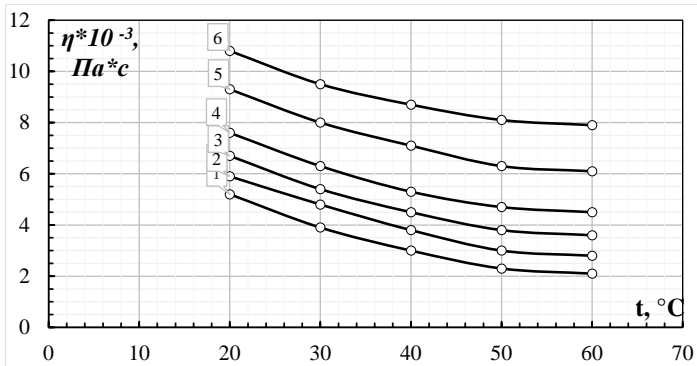


Рис. 2.9 – Вплив температури на динамічну в'язкість розчину «агар-вода-гліцерин» за концентрації агару 1,0 %; гліцерину 0,3 %; при додаванні меду, % : 1 – контроль; 2 – 15; 3 – 20; 4 – 25; 5 – 30; 6 – 35

Як видно з рисунку 2.9 зі збільшенням вмісту меду, в'язкість розчину зросла з $5,2 \pm 0,2$ Па \times с до $10,8 \pm 0,2$ Па \times с. В'язкість розчину, що містить 1,0 % агару, 0,3 % гліцерину без додавання меду, становила $5,2 \pm 0,2$ Па \times с. При додаванні до розчину 15 %, 20 % і 25 % меду, його в'язкість зросла на $5,9 \pm 2,0$; $6,7 \pm 0,2$ і $7,6 \pm 0,2$ Па \times с. Подальше застосування 30 % і 35 % меду призводить до збільшення в'язкості на $9,3 \pm 0,2$ і $10,8 \pm 0,2$ Па \times с відповідно.

Встановлено, що додавання меду в кількості менше 20 ± 2 % або більше 30 ± 2 % не утворює бажаної стабілізуючої структури начинки. Збільшення вмісту меду призводить до значного збільшення в'язкості та надто солодкого смаку.

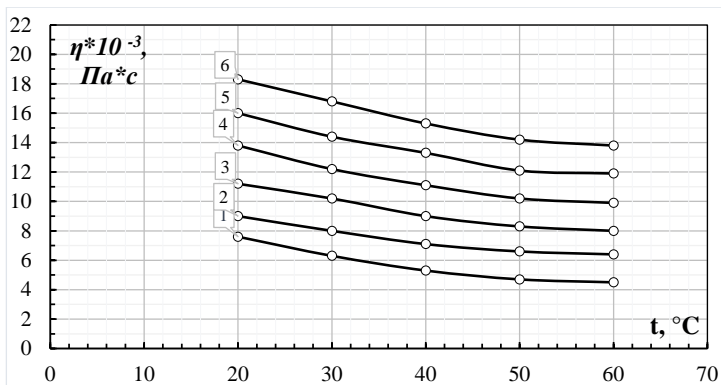


Рис. 2.10 – Вплив температури на динамічну в'язкість розчину «агар-вода-гліцерин-мед» за концентрації агару 1 %; гліцерину 2 %; меду 25 % при додаванні кунжутного борошна, % : 1 – контроль; 2 – 10; 3 – 20; 4 – 30; 5 – 40; 6 – 50.

На кривій рисунку 2.10 показано збільшення в'язкості розчину «агар-вода-гліцерин-мед» від $7,6 \pm 0,2$ до $18,3 \pm 0,2$ $\text{Па} \times \text{с}$, при додаванні кунжутного борошна в інтервалі 10...50 % з кроком в 10 %. Встановлено, що в'язкість розчину, який містить 1 % агару, 2 % гліцерину та 25% меду без внесення кунжутного борошна, становить $7,6 \pm 0,2$ $\text{Па} \times \text{с}$. При додаванні до розчину 10, 20 та 30 % кунжутного борошна, його в'язкість збільшується на $9,0 \pm 0,2$; $11,2 \pm 0,2$ та $13,8 \pm 0,2$ $\text{Па} \times \text{с}$. Подальше внесення борошна в кількості 40 та 50 % призводить до збільшення в'язкості на $16,0 \pm 0,2$ та $18,3 \pm 0,2$ $\text{Па} \times \text{с}$ відповідно.

Встановлено, що додавання кунжутного борошна в кількості менш ніж 30 ± 2 % не призводить до утворення бажаної структури начинки. Збільшення вмісту борошна більш ніж на $30 \pm 2\%$ призводить до появи гіркого смаку та значного збільшення в'язкості начинки.

Для підтвердження раціональної концентрації основних рецептурних компонентів батончика шоколадного, які беруть участь у процесах гелеутворення, проводили дослідження динамічної в'язкості (рис. 2.11) розчинів «агар-вода», «агар-вода-гліцерин», «агар-вода-гліцерин-мед» та «агар-вода-гліцерин-мед-кунжутне борошно» за концентрації агару 1 %, гліцерину 0,3 %, меду 25 %, кунжутного борошна 30 %, в температурному діапазоні 20...60 °С.

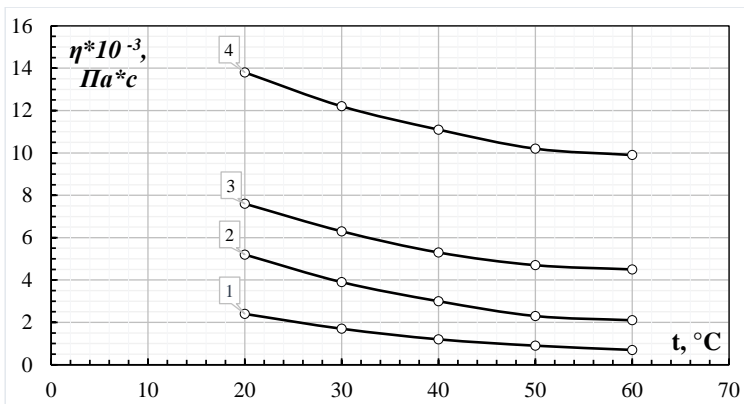


Рис. 2.11 – Вплив температури на динамічну в'язкість розчинів: 1 – «агар-вода», 2 – «агар-вода-гліцерин», 3 – «агар-вода-гліцерин-мед», 4 – «агар-вода-гліцерин-мед-кунжутне борошно»

Встановлено, що підвищення температури в діапазоні 20...60 °С зменшує динамічну в'язкість розчину «агар-вода» на $1,7 \pm 0,2 \text{ Па} \times \text{с}$, додавання гліцерину збільшує динамічну в'язкість до $5,2 \pm 0,2 \text{ Па} \times \text{с}$ за температури 30 °С. Додавання меду та кунжутного борошна призводить до збільшення в'язкості на $7,6 \pm 0,2 \text{ Па} \times \text{с}$ та $13,8 \pm 0,2 \text{ Па} \times \text{с}$ відповідно, за температури 30 °С.

При введенні агару менше 1 % начинка не набуває бажаних структурних властивостей. При додаванні понад 1,0 % агару, структура начинки стає надто пружною, що ускладнює подальше виробництво батончиків.

Додавання гліцерину у кількості понад 0,3 % призводить до значного збільшення в'язкості начинки, швидкості структурного зшивання та надмірного збільшення міцності, що ускладнює процес змішування розчину для подальшого приготування начинки.

Зменшення вмісту меду та кунжутного борошна менше $25 \pm 2 \%$ та $30 \pm 2 \%$ відповідно, призводить до зменшення кількості сухих речовин. Збільшення кількості вище згаданих компонентів призводить до погіршення смакових властивостей готових виробів.

2.4 Накопичення оксиметилфурфуролу при термічному впливі на сировину

В процесі теплової обробки меду, відбуваються хімічні реакції розкладу цукрів, що призводять до утворення оксиметилфурфуролу. Швидкість утворення оксиметилфурфуролу залежить від типу цукру (глюкоза для альдогексозів, фруктоза для кетоглюкозів) та наявності кислого середовища з рН менше 4. Під впливом теплової обробки, за умов збільшення концентрації

цукрів і кислот, утворюються умови для деградації цукрів, що супроводжується відщепленням трьох молекул води та утворенням специфічного сполуку - оксиметилфурфуролу. Оксиметилфурфурол є потужним інгібітором ферментів, що беруть участь у травленні. Наші дослідження спрямовані на вивчення накопичення оксиметилфурфуролу у соняшниковому меді, який планується використовувати для виробництва желейних батончиків.

Для вимірювання використовували високоефективний рідинний хроматограф Agilent 1200 з діодно-матричним детектором. Розділення здійснювали на колонці Zorbax RX-C8 розміром 250×4,6 мм і зернистістю 5 мікрон. Рухому фазі складалася з суміші ацетонітрилу, води та оцтової кислоти (у співвідношенні 15:84:1 за відсотками), зі швидкістю подачі 1,0 мл/хв. Детектування проводили при довжині хвилі 285 нм і оптичній щілині шириною 8 нм. Результати досліджень наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Накопичення оксиметилфурфуролу в продукті (n=3, P≥0,95)

Назва сировини	Температура нагрівання, °C	Вміст оксиметилфурфуролу, мг/кг	
		нормативні вимоги не більше	фактичне значення (n = 3)
Мед соняшниковий	45	25,0	16,4

Багато факторів впливають на рівень накопичення оксиметилфурфуролу, основними з яких є тривалість теплового впливу та склад продукту. Збільшення тривалості теплового впливу призводить до прискорення накопичення оксиметилфурфуролу в незмінному температурному полі. Варто відзначити, що при однакових параметрах (температура і тривалість) максимальний вміст оксиметилфурфуролу після 30-хвилинного теплового оброблення меду становив 16,4 мг/кг. Ці дані свідчать, що накопичення оксиметилфурфуролу не

перевищує встановлені норми.

Оскільки редукувальні цукри є одним з основних факторів зниження харчової цінності білків через їхню високу активність у реакції меланоїдиноутворення під час теплової обробки, вивчався вплив температури на зміни редукувальних цукрів під час технологічних процесів, зокрема підігріву меду під час змішування з іншими компонентами желе-батончика. Ми використовували мед у поєднанні з системою «агар-гліцерин-вода-кунжутне борошно» для проведення досліджень. Вуглеводний склад був визначений за допомогою градієнтного хроматографа зі створенням градієнту складу рухомої фази за лінією низького тиску. На рисунку 2.12 представлені отримані хроматограми вуглеводного складу зразків меду в поєднанні з системою «агар-гліцерин-вода-кунжутне борошно» після термічної обробки.

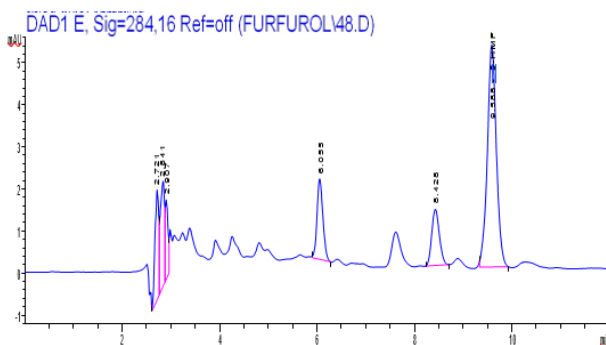


Рис. 2.12 – Хроматограма вуглеводів меду в поєднанні з системою «агар-гліцерин-вода-кунжутне борошно»

За отриманими результатами можна зробити висновок, що вуглеводний склад дослідженого зразка залишається стабільним після теплової обробки. В системі спостерігаються незначні зміни, найбільш помітні у масовій частці фруктози – зменшення на 1,4%, тоді як втрати глюкози не перевищують 0,4%.

Результати досліджень підтверджують доцільність удосконалення

технології батончиків желейних з використанням меду та борошна кунжутного.

2.5. Дослідження гідрогелів агару у поєднанні з медом та кунжутним борошном методом диференціально-скануючої калориметрії для виробництва батончиків

Одним з основних методів фізико-хімічного дослідження агарових розчинів є диференціальна скануюча калориметрія (ДСК). Цей метод дозволяє визначити температури та ентальпії конформаційних переходів у розчинах та дисперсіях біополімерів та якісно охарактеризувати гелеутворювальну здатність полісахаридів. Відомо, що агар-агар слабо розчиняється в холодній воді і набухає в ній. При нагріванні у воді до 90-100 С агар-агар утворює колоїдний розчин, який при охолодженні дає міцний гель. Концентрація, з якої агар-агар формує гелі, становить 0,5% (відповідає початку формування міжмолекулярних зв'язків у розчині біополімеру). Процес гелеутворення у агару-агару відбувається за рахунок утворення та агрегації подвійних спіралей і не залежить від вмісту катіонів або низькомолекулярних цукрів у розчині.

У дослідженнях були використані агар 1200 ТМ «Fujian Province» (Китай), гліцерин харчовий ТМ BASF (Germany), мед соняшниковий та кунжутне борошно ТМ «Корисне борошно» (Україна), для приготування розчинів використовували дистильовану воду.

Систему «агар-вода-гліцерин» готували наступним чином. Попередньо зважений агар засипали у воду за температури $20 \pm 2^\circ\text{C}$, перемішували, вносили гліцерин і залишали для набухання при 30-40×60 с. Далі нагрівали розчин на водяній бані при температурі 85-95 °С до повного розчинення агару. Після цього у розчин вносили мед (модельний зразок «агар-вода-гліцерин-мед») і кунжутний порошок (модельний зразок «агар-вода-гліцерин-мед-кунжутний порошок») та ретельно перемішували.

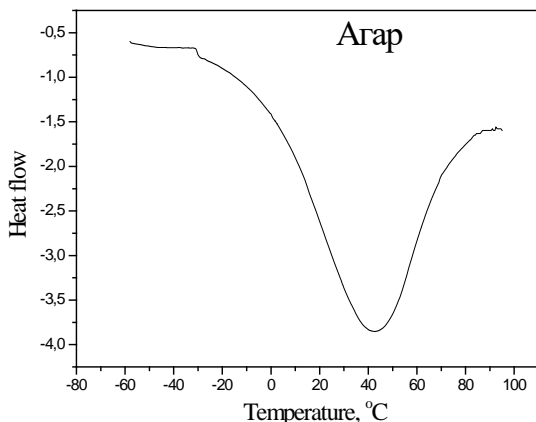


Рис. 2.13 – Залежність теплового потоку від температури для чистого агару

На рис. 2.13 приведена ДСК крива для чистого агару. Із рисунку видно, що на кривій спостерігається розширений ендотермічний пік, що вказує на деякий температурний перехід у даному матеріалі. Температура максимуму цього переходу становить 42,7 °С. Сам пік спостерігається у температурному діапазоні від -23,8 °С до 81,7 °С. Ентальпія такого переходу становить 336,4 Дж/г.

Отримані результати добре корелюють із літературними даними щодо чистого агару. У деяких роботах показано, що для агарової плівки спостерігається ендотермічний пік при температурі близько 90 °С, проте інші автори стверджували, що для агару характерний ендотермічний пік при 110 °С, який спостерігається при вищих температурах ніж зазвичай для агару [125].

Також дослідники [126] встановили наявність ендотермічні піки у трьох видах агарового гелю, які спостерігалися при різних температурах у діапазоні від 75 °С до 90 °С. Варто відзначити, що температура переходу у агарі значно

залежить від його природи та методу виготовлення. На думку деяких авторів, цей ендотермічний пік пов'язаний з температурою плавлення.

Однак її часто називають температурою дегідратації, що пояснюється випаровуванням води, зв'язаної з гідрофільними групами полімерів [127] і відображає силу взаємодії вода-полімер. Це говорить про те, що деяка кількість зв'язаної води все ще не була видалена із зразків при висушуванні в ексикаторі.

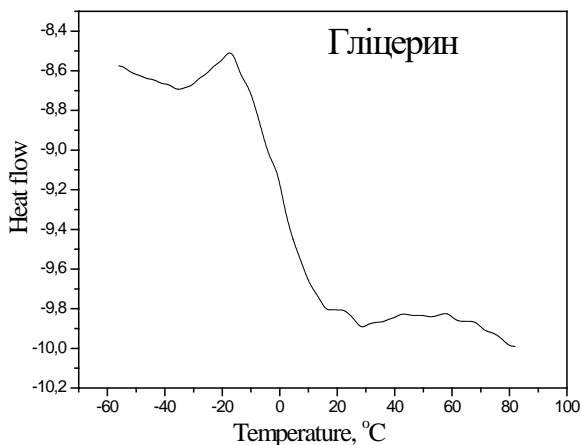


Рис. 2.14 – Залежність теплового потоку від температури для чистого гліцерину.

На рис. 2.14 приведена залежність теплового потоку від температури для чистого гліцерину. З графіка видно, що нагрівання гліцерину в області температур від -60°C до 80°C супроводжується температурним переходом. Цей перехід пов'язаний із розкльованням гліцерину, який при переохолодженні переходить у квазісклоподібний стан. Зазвичай температура скльовання для гліцеринових систем є нижчою, проте вона значно залежить від типу гліцерину та умов його виготовлення.

У випадку гліцерину, який використовували у роботі, температура склування становила $-7,2$ °С. При цьому енергетичний стрибок при розсклуванні матеріалу становив $0,07$ мВт/мг. Особливістю переходу склування для даного гліцерину є наявність додаткового максимуму, який передуге процесу розсклування. Цей максимум характеризує надлишкову ентальпію при склуванні, виникнення якої зв'язують із неспроможністю молекул утворити упорядковану структуру. Величина надлишкової ентальпії при склуванні становить $1,8$ Дж/г.

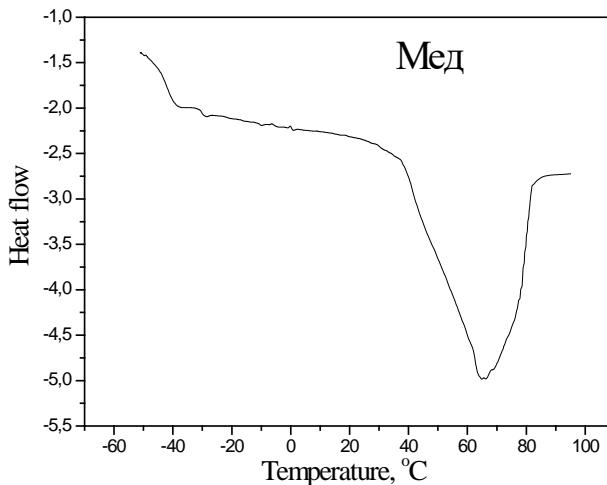


Рис. 2.15 – Залежність теплового потоку від температури для чистого меду

На рис. 2.15 приведена ДСК крива для чистого меду, який використовували у роботі. З рисунку видно, що для досліджуваного зразка у інтервалі температур від -60 °С до 80 °С спостерігається декілька температурних переходів: сходинкоподібна зміна теплового потоку та два ендотермічних максимуми. Зміна теплового потоку в інтервалі температур від –

60 °C до -30 °C пов'язана із переходом склування. При цьому температура склування становить -41,7 °C, що добре корелює із даними роботи [128], які отримали значення температури склування для меду рівну 42 °C.

При цьому для досліджуваного меду енергетичний стрибок при розсклуванні матеріалу становив 0,06 мВт/мг. Окрім цього на кривій ДСК спостерігається малоінтенсивний ендотермічний пік, максимум якого становить -28,5 °C, а ентальпія 0,18 Дж/г. Наявність температури склування та малоінтенсивного ендотермічного піку в області температур -60 °C до -20 °C є типовим для перенасичених розчинів цукру, які не здатні утворювати лід.

У інтервалі температур від 40 °C до 80 °C спостерігається інтенсивний ендотермічний максимум. Цей пік відповідає за плавлення кристалічної фази меду. Температура плавлення при цьому рівна 64,8 °C, а ентальпія - 29 Дж/г. Такі значення температури плавлення та склування є характерними для меду, зібраного на різноотрав'ї.

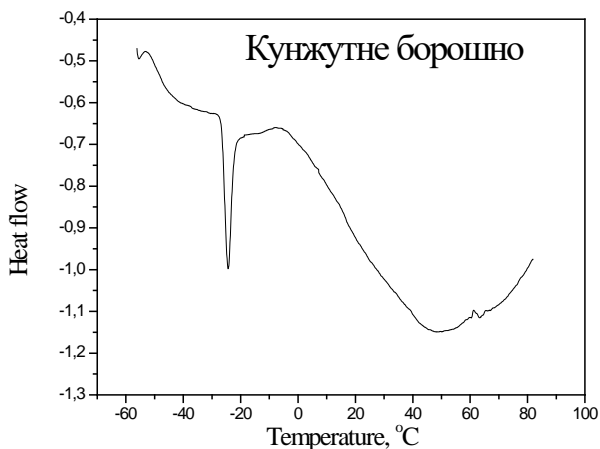


Рис. 2.16 – Залежність теплового потоку від температури для чистого кунжутного борошна

На рис. 2.16 показано ДСК криву для досліджуваного кунжутного борошна. З рисунку видно, що у досліджуваному інтервалі температур для кунжутного борошна спостерігається один ендотермічний пік. Цей пік відповідає за плавлення однієї із фаз кунжутного борошна. Відомо, що борошно із маслянистих культур складається із сухої та масляної компоненти. У даному випадку суха компонента кунжутного борошна ніяк не проявляється на кривій ДСК у досліджуваному інтервалі температур. Проте масляна компонента при зниженні температури кристалізується. Отже, цей ендотермічний пік в інтервалі температур від $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ відповідає за плавлення кунжутної олії. Температура цього фазового переходу становить $-24,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, що добре корелює зі значеннями температур плавлення чистої кунжутної олії, яка рівна $-26\text{ }^{\circ}\text{C}$ [130].

Тепер розглянемо вплив компонентів системи на їх теплофізичні характеристики.

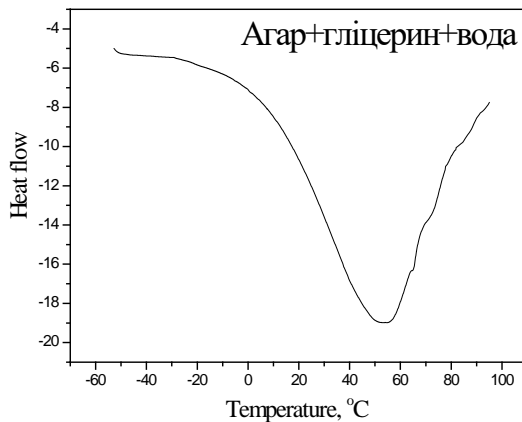


Рис. 2.17 – Залежність теплового потоку від температури для багатокомпонентної системи агар-гліцерин-вода.

На рис. 2.17 приведена крива ДСК для багатокомпонентної системи агар-гліцерин-вода. На кривій ДСК спостерігається один широкий інтенсивний ендотермічний максимум, що є свідченням фазового переходу. Температура цього переходу становить 54,7 °С, а ентальпія – 375 Дж/г. Вища температура, у порівнянні із чистим агаром пояснюється впливом великої кількості води на дану систему. Вміст води становив 46 %, тоді як вміст агару всього 2 %.

Набуханні та гелеутворенні агару утворюється тривимірна полімерна сітка, у комірках якої молекули води зв'язуються. Наслідком цього є зростання температури дегідратації, яка зростає на 12 °С у порівнянні із чистим агаром. На значний вплив води вказує і зростання ентальпії процесу дегідратації.

Варто відмітити, що в області 70 °С на максимумі спостерігається певне «плече», що є проявом додаткового максимуму. Можна припустити, що це є проявом впливу гліцерину, який частково пластифікує систему.

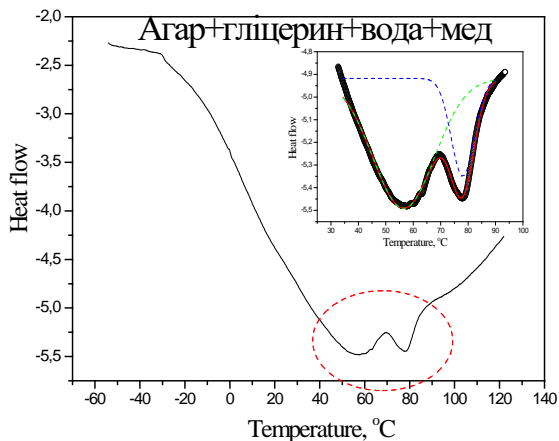


Рис. 2.18 – Залежність теплового потоку від температури для багатокомпонентної системи агар-гліцерин-вода-мед

Зі збільшенням кількості компонент у системі, загальний вид кривої ДСК, а отже і теплофізичні властивості значно змінюються. На рис. 2.18 приведена крива ДСК для багатокомпонентної системи агар-гліцерин-вода-мед. На кривій спостерігається широкий бімодальний максимум. Використовуючи методи математичної обробки даних вдалося розділити бімодальний максимум на дві складові, як показано на рисунку. Бімодальний максимум вказує на два фазових переходи, а отже у системі існує дві кристалічні фази.

Так дійсно, перший максимум, який спостерігається при температурі 57,5 °С і відповідає фазі агар-вода, пластифікованих гліцерином. При чому температури цього переходу для системи та фази агар-вода-гліцерин майже рівні. Ентальпія переходу першої фази становить 13,9 Дж/г, що є значно меншим від значення ентальпії для системи агар-вода-гліцерин.

Таке зменшення є наслідком зменшення кількості цієї фази у багатокомпонентній системі та перерозподілу енергії між фазами. При цьому вміст цієї фази складає 68 %. Другий максимум вказує на плавлення фази меду. При цьому температура плавлення цієї фази меду становить 77,8 °С. При цьому спостерігається збільшення температури плавлення медової фази у порівнянні з чистим медом на 13 °С. Це є свідченням часткового зв'язування кристалів меду з комірками тривимірної полімерної сітки агару.

Ентальпія другого максимуму становить 5,3 Дж/г, що менше від ентальпії чистого меду. Це зменшення є пропорційним до зниження кількості меду у системі.

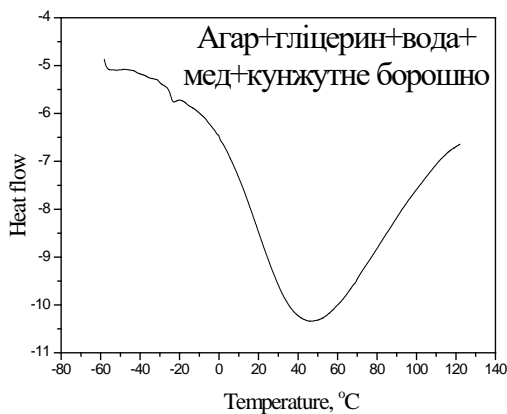


Рис. 2.19 – Залежність теплового потоку від температури для багатокомпонентної системи агар-гліцерин-вода-мед-кунжутне борошно.

При додаванні наступного компоненту теплофізичні характеристики системи також змінюються. На рис. 2.19 приведені ДСК крива для багатокомпонентної системи агар-гліцерин-вода-мед-кунжутне борошно. З рисунку видно, що на ДСК кривій спостерігається два ендотермічних піка. Один пік малоінтенсивний в межах $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ та більш широкий в діапазоні температур від $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $120\text{ }^{\circ}\text{C}$.

З графіка видно, що введення кунжутного борошна в кількості 22 % зв'язує різні фази багатокомпонентної системи, тому максимум є унімодальним. Однак фаза кунжутної олії все ж проявляється у вигляді ендотермічного максимуму. Температура цього переходу становить $-22,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, що майже дорівнює температурі плавлення чистої кунжутної олії.

Великий ендотермічний пік має мінімум при температурі $46\text{ }^{\circ}\text{C}$, а ентальпія 251 Дж/г . Така температура є дуже близькою до температури дегідратії у чистому агарі. Це свідчить, що компоненти у такій складній

багатокомпонентній системі подавляють кристалічність один одного, тому інші ендотермічні максимуми не спостерігаються.

2.6. Термогравіметричний аналіз гідрогелів агару у поєднанні з медом та кунжутним борошном для виробництва желейних батончиків

Агарові гелі широко використовуються у виробництві різних кондитерських виробів, зокрема батончиків. При виробництві батончиків з гелеподібною структурою агар слід розглядати не як харчову добавку, а як основний інгредієнт, що визначає структуру готового продукту. Гелі являють собою складні багатокомпонентні системи, що містять високомолекулярні речовини і низькомолекулярну рідину (воду). Щоб скласти рецептури для приготування розчинів з оптимальними властивостями, необхідно вивчити реологічні властивості водних розчинів окремих компонентів.

Важливим фактором стабільності та якості гелів під час виробництва, зберігання та використання у складі кондитерських і кулінарних виробів є їх термостійкість, яка залежить від інгредієнтного складу та вмісту сухих речовин [131]. На сьогоднішній день термічний аналіз, особливо дериватографія, є одним з найпоширеніших фізико-хімічних методів дослідження. Він дозволяє вивчати поведінку різних речовин як індивідуально так і в композиції при запрограмованих умовах нагрівання. На практиці різні процеси, що відбуваються під час нагрівання зразка, кількісно оцінюють за екзотермічними кривими та кривими втрати маси.

З метою вивчення термічного розкладу, окислення, сумісності активних та допоміжних речовин доцільно застосовувати термогравіметричний аналіз, який дозволяє отримувати дериваторами як індивідуальних речовин так і їх композицій. Дослідження складалося з двох етапів. На першому вивчали дослідні зразки – окремі інгредієнти запропонованих желейних батончиків: агар 1200 ТМ «Fujian Province» (Китай), гліцерин харчовий ТМ BASF (Germany),

мед соняшниковий та кунжутне борошно ТМ «Корисне борошно» (Україна).

На другому етапі готували зразки агарових гідрогелів, що слугують в якості корпусу для запропонованих батончиків, із необхідною кількістю допоміжних інгредієнтів: «агар 1 %-вода-гліцерин 0,2 %», «агар 1 %-вода-гліцерин 0,2 %-мед 25 %», «агар 1 %-вода-гліцерин 0,2 %-мед 25 %-кунжутне борошно 20 %».

Отримані данні дериватограф графічно фіксував у вигляді кривих T, DTA, TG, DTG які представлені на рис. 2.20...2.26. Крива T, °C на дериватограмі показує зміну температури, а крива TG, m – зміну маси зразка в період дослідження. Крива DTA відображає диференціювання теплових ефектів, містить інформацію про ендотермічні та екзотермічні максимуми. Крива DTG реєструє зміну маси речовини в залежності від часу або температури.

Аналіз дериватограми агару (рис. 2.20) показав, що даний зразок є відносно термічно стабільною сполукою в діапазоні температур від 17 до 45 °C. На сімнадцятій хвилині експерименту при температурі 46,2 °C спостерігається зміна маси зразку, яка від початку експерименту змінилася на 0,33 % (0,33 мг). На двадцять дев'яній хвилині експерименту при температурі 70,66 °C маса сполуки змінилася на 3,95 % (3,99 мг), а на сорок першій хвилині експерименту при температурі 120,78 °C зміна маси агару уже складала 13,68 % (13,54 мг).

Наприкінці експерименту при температурі 207 °C втрата маси зразку від початку досліджу складала 16,91 % (16,75 мг.).

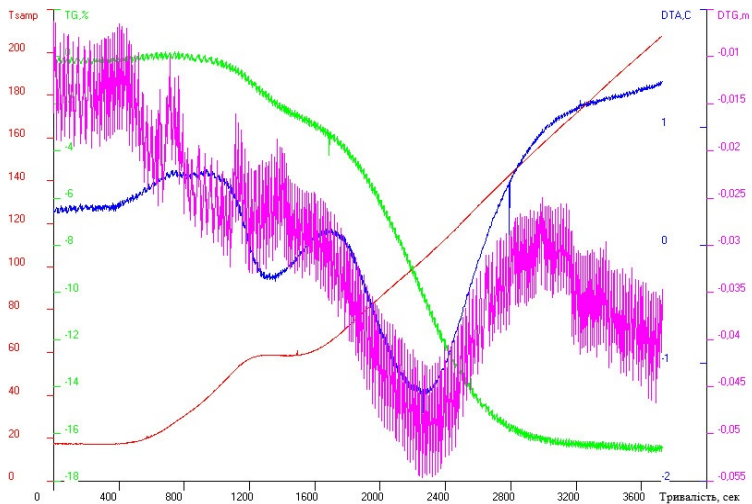


Рис. 2.20 – Д ериватограма чистого агару

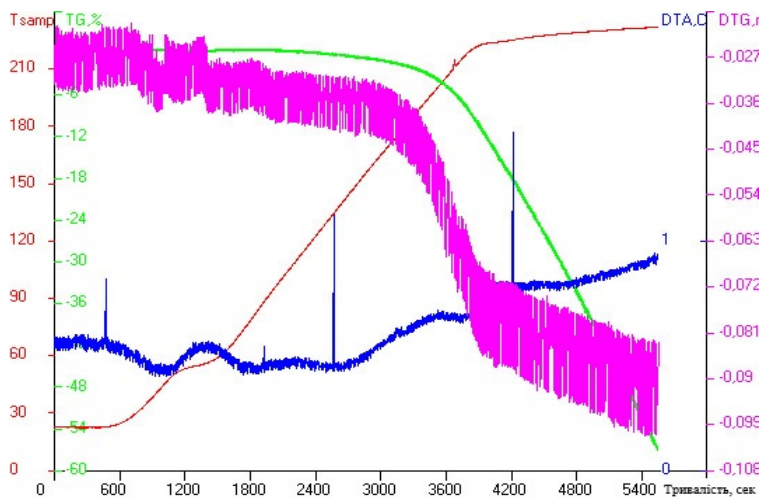


Рис. 2.21 – Д ериватограма гліцерину

Як видно з наведених даних (рис. 2.21) діюча речовина – гліцерин є

термічно стійкою сполукою в діапазоні температур від 20 до 150 °С. На сорок шостій хвилині експерименту при температурі 150,88 °С маса дослідного зразку зменшилась на 0,44% (0,56 мг), а вже на шістдесятій хвилині досліду при температурі 205,36 °С спостерігали незначний ендотермічний ефект, при цьому маса гліцерину зменшилась на 4,70 % (5,87 мг). Потім поступово маса зменшувалась до 45,45 % (56,82 мг) при температурі 230,65 °С.

Встановлено (рис. 2.22), що до 45 °С досліджуваний зразок меду є стабільним. На шістнадцятій хвилині експерименту при температурі 45,12 °С спостерігається зміна маси зразку, яка від початку експерименту змінилася на 0,17 % (0,21 мг).

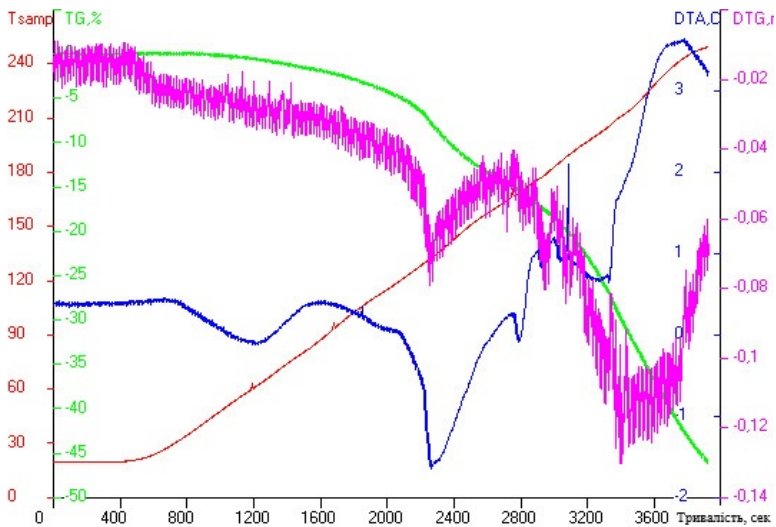


Рис. 2.22 – Дериватограма меду соняшникового

На тридцять четвертій хвилині експерименту при температурі 120,05 °С маса зразка змінилася на 4,76 % (5,81 мг), а на сорок сьомій хвилині експерименту при температурі 172,78 °С зміна маси меду уже складала 16,41 % (20,02 мг). Наприкінці експерименту при температурі 249,41 °С втрата маси

зразку від початку досліді склала 46,06 % (56,20 мг.)

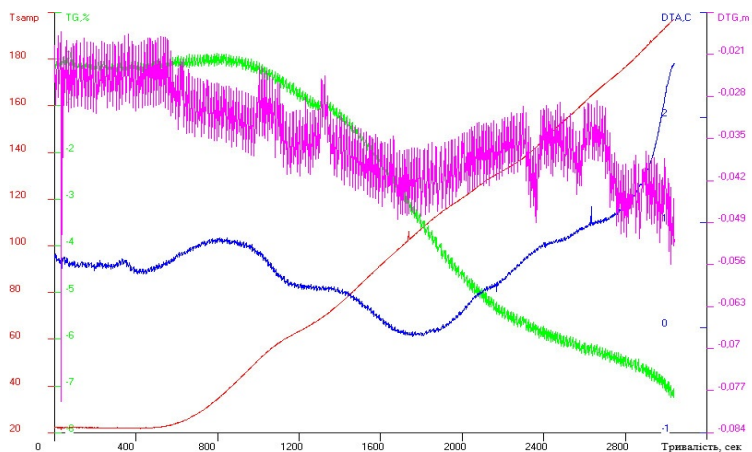


Рис. 2.23 – Дериватограма кунжутного борошна

Як видно з наведених даних (рис. 2.23) кунжутне борошно є термічно стійким в діапазоні температур від 20 до 50 °С. На шістнадцятій хвилині експерименту при температурі 50,37 °С маса дослідного зразку зменшилась на 0,15% (0,18 мг), Втрата маси зразка при температурі 110,06 °С склала 3,73 % (4,58 мг), а вже на тридцять шостій хвилині досліді при температурі 130,42 °С спостерігали зміну маси на 5,24 % (6,45 мг). Потім поступово маса зменшувалась до 7,25 % (8,92 мг) при температурі 197 °С.

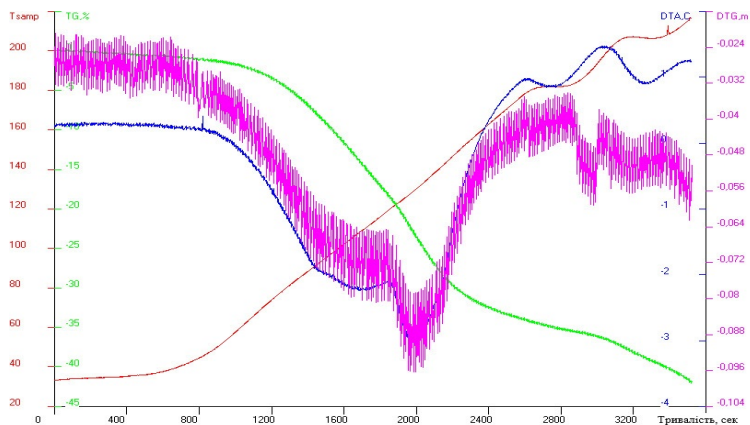


Рис. 2.24 – Дериватограма гідрогелю «агар-вода-гліцерин»

Встановлено (рис. 2.24), що до 35 °С зразки агарового гідрогелю у поєднанні з гліцерином стабільні, а зміна маси досліджуваного зразка починаються за температури 35,60 °С. В інтервалі температур 40–145 °С втрата маси зразка супроводжуються вираженим ендотермічним ефектом – випарюванням та склала 28,94 % (30,39 мг) від початку дослідження. На сорок дев'ятей хвилині експерименту при температурі 190,43 °С маса зразку зменшилась на 35,99% (37,79 мг) В кінці експерименту маса дослідного зразку змінилася на 42 % (44,10 мг).

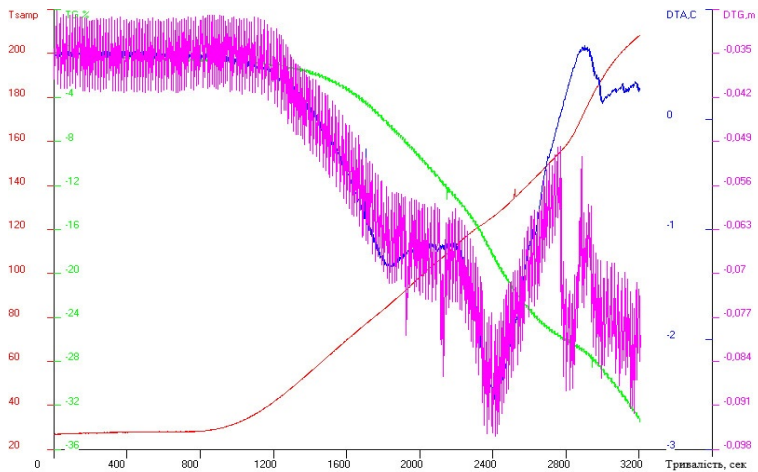


Рис. 2.25 – Дериватограма гідрогелю «агар-вода-гліцерин-мед»

Аналіз дериватограми модельного зразка «агар-вода-гліцерин-мед» (рис. 2.25) показав, що даний зразок є стабільним в діапазоні температур від 20 до 30 °С. На п'ятнадцятій хвилині експерименту при температурі 30,23 °С спостерігається зміна маси зразку, яка від початку експерименту змінилася на 0,82 % (0,90 мг). За подальшого нагрівання відбуваються значні втрати води внаслідок її інтенсивного випаровування – 13,82 % (15,26 мг), а при температурі 150 °С зміна маси агару уже складала 24,89 % (27,38 мг). Це, ймовірно, пов'язано з випаровуванням водної фази. Наприкінці експерименту при температурі 208 °С втрата маси зразку від початку дослідження складала 33,40 % (36,74 мг.).

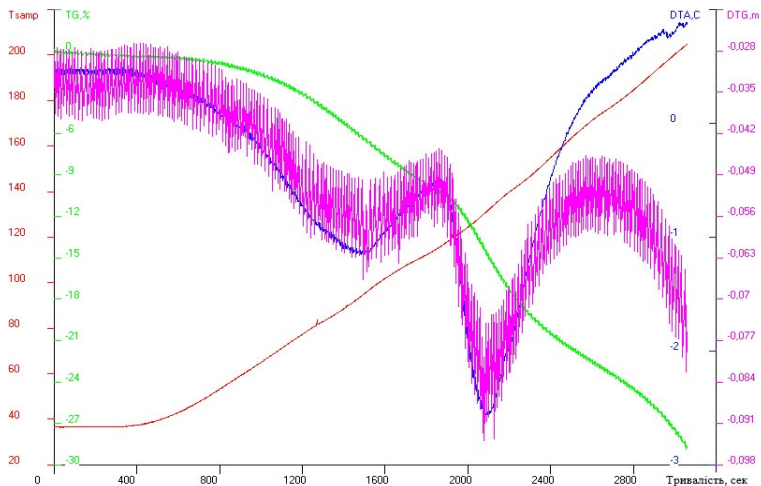


Рис. 2.26 – Дериватограма гідрогелю «агар-вода-гліцерин-мед-кунжутне борошно»

З рис. 2.26 видно, що модельний зразок «агар-вода-гліцерин-мед-кунжутне борошно» має подібний профіль динаміки зміни маси у порівнянні з попереднім зразком, проте втрата маси все ж таки була дещо нижчою. В інтервалі температур 30–120 °С втрата маси досліджуваного зразка склала 11,08 % (13,29 мг). Далі маса поступово зменшувалась та в кінці експерименту змінилася на 28,82 % (34,59 мг) при температурі 204 °С, що пов'язано з випаровуванням водної фази.

У таблиці 2.2 представлені теплофізичні характеристики трьох різних модельних систем на основі агару з додаванням різних інгредієнтів, які додаються до складу гелю.

Теплофізичні характеристики агарових гелів

Модельні системи	Характеристики	
	Температура нагрівання, °С	Зміна маси, %
«Агар-вода-гліцерин»	35	-
	145	28,94
	190	35,99
	217	42,00
«Агар-вода-гліцерин-мед»	30	-
	115	13,82
	150	24,89
	208	33,40
«Агар-вода-гліцерин-мед-кунжутне борошно»	30	-
	120	11,08
	160	21,24
	204	28,82

З таблиці видно, що серед усіх досліджених зразків найбільшу термічну стійкість має модельний зразок «агар-вода-гліцерин-мед-кунжутне борошно», оскільки він зберігає свою масу майже без змін навіть після нагрівання до 204 °С. До того ж, цей зразок має найнижчу зміну маси при всіх температурах порівняно з іншими модельними системами. Тому, можна зробити висновок, що цей зразок є найбільш термостійким серед усіх досліджених зразків.

Результати отриманих досліджень агарових гелів, можуть бути корисними для виробництва желейних батончиків з високою термостійкістю. Завдяки високій термостійкості, желейні батончики можуть зберігатися при високих температурах і не втрачати свої властивості, такі як форма, текстура та смак.

2.7. Дослідження інфрачервоних спектрів компонентів батончика желейного з використанням меду та порошку кунжутного

У запропонованій технології желейних батончиків, для покращення

органолептичних властивостей та підвищення харчової та біологічної цінності готового продукту, пропонується сумісне поєднання кунжутного борошна та меду.

У якості структуроутворювача для закріплення структури корпусу желейного батончика нами був обраний агар, оскільки встановлено, що гелі на основі агару володіють високими реологічними властивостями. Також на відміну від інших структуроутворювачів, таких як желатин, агар не додає калорійності та небажаного присмаку готовому продукту.

Однак використання агару в технологічному процесі виробництва батончиків з гелеподібною структурою потребує наукового обґрунтування, оскільки за взаємодії з гліцерином, медом та кунжутним борошном агар, за певних умов, здатен регулювати та надавати продукції заданих структурно-механічних та фізико-хімічних характеристик.

Тому для визначення закономірності впливу окремих компонентів батончика на стан води гелевих систем на основі агару нами було обрано метод інфрачервоної спектроскопії, оскільки цей метод може забезпечити швидкий та точний аналіз хімічного складу зразка без необхідності його руйнування.

Інфрачервона спектроскопія може також виявити навіть дуже малі зміни в хімічному складі зразка, що дозволяє виявляти якість та допомагає в розробці нових продуктів. Метод інфрачервоної спектроскопії є одним з найважливіших методів аналізу доступних сучасним вченим. Однією з найбільших її переваг є те, що вона дозволяє отримувати спектри речовини у всіх її агрегатних станах [142].

Спектроскопія ближнього інфрачервоного випромінювання широко використовується для рутинного аналізу харчових продуктів, технологічних сумішей і кількісного визначення води, білків, жирів і вуглеводів. Однак найзначніші досягнення в інфрачервоній спектроскопії відбулися в результаті впровадження спектрометрії з перетворенням Фур'є і підвищення роздільної

здатності. Цей тип приладу заснований на ідеї інтерференції випромінювання між двома пластинами для отримання інтерферограми [143].

До переваг ІЧ-спектроскопії з перетворенням Фур'є відносять високу роздільну здатність і високу точність визначення хвильових чисел, значне спрощення проблеми усунення розсіяного або паразитного світла; швидкість сканування, яка підвищує ймовірність успішного завершення експерименту; можливість дослідження широкої спектральної області за час одного скана; можливість реєстрації слабких сигналів; вимірювання в амплітудній спектроскопії комплексних коефіцієнтів відбиття і пропускання.

Вихідними компонентами для приготування гелів були взяті зразки агару 1200 ТМ «Fujian Province» (Китай) (1), гліцерину харчового ТМ BASF (Німеччина) (2), меду соняшникового (3), порошку кунжутного (тут ще буде вказаний виробник) (4). Підготовка зразків гелів «агар-вода-гліцерин», «агар-вода-гліцерин-мед», «агар-вода-гліцерин-мед-кунжутний порошок» для дослідження методом ІЧ-спектроскопії наведена на рис. 2.27.

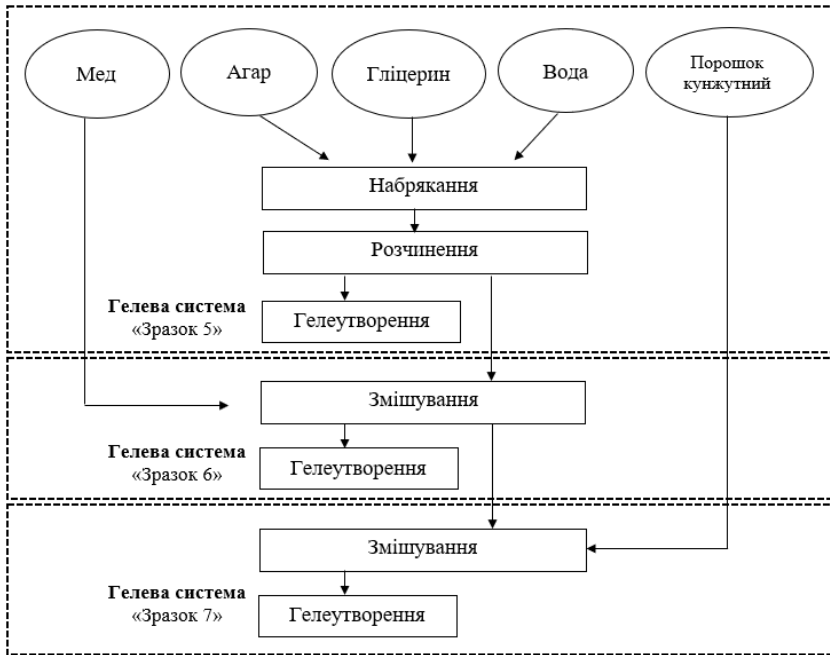


Рис. 2.27 – Принципова технологічна схема отримання гелевих агарових систем

Одержували гелі на основі водних розчинів агару з гліцерином (зразок 5) або агару з гліцерином і медом (зразок 6), або агару з гліцерином, медом і кунжутним порошком (зразок 7). Агар замочували водою, додавали гліцерин і залишали для набрякання упродовж 60–120 хв за температури $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Далі зразки 5–7 нагрівали до $85\text{--}90^\circ\text{C}$ до повного розчинення сухого компоненту (агару). Зразок 5 охолоджували до утворення гелю. Зразки 6 і 7 охолоджували до температури $40\text{--}45^\circ\text{C}$, після чого додавали до зразка 6 – мед, зразка 7 – мед і кунжут, перемішували і залишали для утворення гелю. В результаті, були одержані гелеподібні системи з однорідною, гладкою поверхнею.

Вивчено якісний склад та закономірності впливу окремих рецептурних

компонентів на стан води у модельних гелевих системах «агар-вода-гліцерин», «агар-вода-гліцерин-мед», «агар-вода-гліцерин-мед-кунжутний порошок». Дослідження проведено із застосуванням інфрачервоної спектроскопії на Фур'є-спектрометрі Perkin-Elmer Spectrum One FTIR Spectrometer. Рідкі зразки (гліцерин, мед, гелеві системи) досліджували методом роздавленої краплі й записували в тонкому шарі між пластинами з цинку селеніду. Тверді зразки (агар, кунжутний порошок) попередньо висушували до постійної маси зразка і змішували з калій бромідом (3 мг зразка/300 мг KBr).

У результаті дослідження отримано ІЧ-спектри дослідних зразків модельних гелів на основі агару з гліцерином з додаванням меду і кунжуту.

ІЧ-спектри агару, гліцерину, гелевої системи «агар-вода-гліцерин».

На рис. 3.28 наведено ІЧ-спектри зразків агару, гліцерину, гелевої системи «агар-вода-гліцерин».

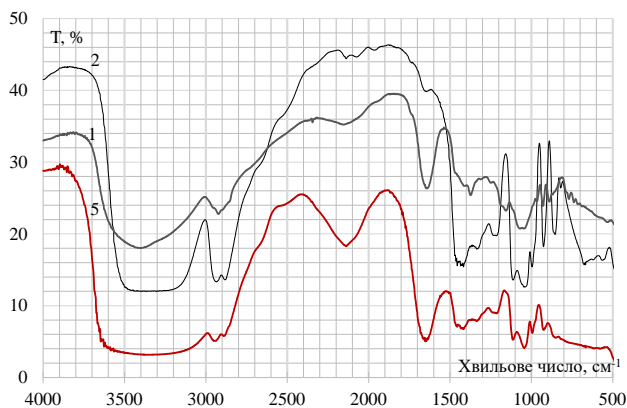


Рис. 2.28 – ІЧ-спектри зразків: 1 – агар, 2 – гліцерин, 5 – гелева система «агар-вода-гліцерин»

В ІЧ-спектрі агару (3 мг попередньо висушеного до постійної маси зразка/300 мг KBr) в області $3600\text{--}3200\text{ см}^{-1}$ з максимумом за 3400 см^{-1} ,

присутні інтенсивні смуги поглинання валентних коливань –ОН, –NH₂ зв'язків, коливання адсорбційно зв'язаної води; за 2924 см⁻¹ – валентних коливань –СН-, –СН₂-, –ОСН₃ зв'язків, за 1644 см⁻¹ – валентних коливань коньюгованого пептидного зв'язку і групи –СООН пектинових речовин; 1374 см⁻¹ – смуга естерів сульфату, 1248 см⁻¹ – смуга, загальна для всіх сульфатних груп агару, 1072, 930 см⁻¹ – смуги середньої інтенсивності, характерні для 3,6-ангідрогалактози, 857 см⁻¹ – слабка смуга, характерна для галактозо-4-сульфату, 812 см⁻¹ – слабка смуга, характерна для 3,6-ангідрогалактозо-2-сульфату.

Для гліцерину (рис. 2.28, зразок 2) характерний водневий зв'язок хелатного типу, що виявляється у вигляді дуже широкої розмитої смуги в області 3500–3200 см⁻¹ (максимум поглинання – за 3391 см⁻¹). Ділянка 1400–1000 см⁻¹ є ділянкою скелетних коливань молекули. Наявність полярного С–О зв'язку викликає появу інтенсивної смуги в інтервалі 1200–1000 см⁻¹.

Відомі основні положення максимуму смуг поглинання в ІЧ-спектрі води, що відповідають таким коливанням: валентні асиметричні V_{ас}–3600 см⁻¹, валентні симетричні V_с–3450 см⁻¹, обертони 2V_□–3290 см⁻¹, сумарні V_L+V_□–2150 см⁻¹, деформаційні V_□–1645 см⁻¹, крутильні V_L–780 см⁻¹ [7].

Експериментально визначені дані віднесення смуг ІЧ-спектрів агару, гліцерину і водно-гліцеринових гелів агару наведено в табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Частотні положення (см⁻¹) основних смуг ІЧ-спектрів поглинання функціональних груп агару і гліцерину до і після взаємодії

Хвильове число, см ⁻¹			Віднесення смуг
агар	гліцерин	«агар-вода-гліцерин»	
1	2	3	4
3400	3391	3700–3000	–ОН (валентні коливання); Н ₂ О адсорбційно зв'язана (валентні коливання); 3500–3200 см ⁻¹ (максимум: 3360–3355 см ⁻¹)

Закінчення табл. 2.3

1	2	3	4
2924	2935 2882 –	2945 2889	–CH– і –CH ₂ – (валентні коливання <i>as i s</i>); –OCH ₃ (метоксильні групи агару)
2156*	2138	2139	–OH (валентні коливання асоційованих груп); –OH карбоксильної групи*; води (2150 см ⁻¹)
1644	–	1645	–NH–CO– (валентні коливання коньюгованого пептидного зв'язку); –COOH пектинових речовин (1650–1500 см ⁻¹); вода (деформаційні коливання)
–	1647	1652	–OH (деформаційні коливання)
–	1417	1417	C–O–H (деформаційні коливання)
1374	–	1373	естер сульфату
–	1337	1337	–OH (деформаційні коливання спиртів)
1248	–	1234	загальна для всіх сульфатних груп
–	1215	–	–C–C (спиртів)
1159	–	–	R–SO ₂ –R
–	1112	1112	C–O (деформаційні коливання багатоатомного спирту)
1072, 1047, 930	–	– 1045, 925	3,6-ангідрогалактоза (1070 і 930 см ⁻¹)
–	1039, 996, 925	1045, 994 925	C–O– (деформаційні коливання); C–O–H
891, 857 812	–	850	D-галактозо-4-сульфат (845 см ⁻¹); D-3,6-ангідрогалактозо-2-сульфат (805 см ⁻¹)
–	854	–	C–O–H (деформаційні коливання)
–	667	–	O–H зв'язана (деформаційні коливання)

Приготування водно-гліцеринового гелю агару характеризується перебігом різноманітних фізико-хімічних взаємодій між функціональними групами. Після утворення гелю «агар-вода-гліцерин» (зразок 5) в області 3700–2600 см⁻¹

присутня широка розмита інтенсивна смуга, значно розширена за рахунок зростання кількості зв'язаних ОН груп, адсорбційно зв'язаної води, перерозподілу асоційованих і неасоційованих груп і перекривання смуги $3600\text{--}3200\text{ см}^{-1}$ (валентні коливання --OH , --NH_2 зв'язків, валентні коливання адсорбційно зв'язаної води) і смуги $3000\text{--}2800\text{ см}^{-1}$ (валентні коливання зв'язків --CH-- , $\text{--CH}_2\text{--}$, --OCH_3) порівняно з даними для вихідних агару (1) і гліцерину (2). Смуги валентних коливань зв'язків --CH-- , $\text{--CH}_2\text{--}$, --OCH_3 за 2924 см^{-1} (агар), 2935 і 2882 см^{-1} (гліцерин) у гелі «агар-вода-гліцерин» трансформуються, зміщуючись у бік більш високих частот – 2945 см^{-1} і 2889 см^{-1} .

У гелі (рис. 2.28, 2.29, зразок 5) з'являється інтенсивна широка смуга поглинання в області $2500\text{--}1800\text{ см}^{-1}$ з максимумом за 2139 см^{-1} , характерна для валентних коливань асоційованих гідроксильних груп і зумовлена утворенням значної кількості міжмолекулярних водневих зв'язків. Порівняно зі спектром води ($V_L+V_D\text{--}2150\text{ см}^{-1}$) максимум смуги поглинання гелю зміщується у бік менших хвильових чисел, зростає інтенсивність смуги, а також інтенсивність смуги її деформаційної складової ($V_D\text{--}1645\text{ см}^{-1}$). Водночас у спектрі значно розширюється смуга валентних симетричних коливань (3450 см^{-1}).

У спектрі гелю (рис. 2.28, 2.29, зразок 5) в діапазоні частот $1800\text{--}1500\text{ см}^{-1}$ спостерігається перекривання смуг деформаційних коливань групи --OH гліцерину (1647 см^{-1}) і валентних коливань коньюгованого пептидного зв'язку, групи --COOH пектинових речовин агару (1644 см^{-1}) з утворенням широкої інтенсивної смуги з двома практично накладеними максимумами за 1652 см^{-1} і 1645 см^{-1} . Зазначений максимум поглинання смуги для гелю (1652 см^{-1}) зміщений у бік більш високих частот порівняно з максимумом поглинання, який відповідає деформаційним коливанням води $V_D\text{--}1645\text{ см}^{-1}$, що свідчить про наявний перехід від мономерів і димерів молекул води до тримерів і олігомерів.

Слабка смуга поглинання за 1417 см^{-1} , характерна для деформаційних коливань груп С–О–Н гліцерину (рис. 2.28–2.30, зразок 2), зменшує інтенсивність у гелі «агар-вода-гліцерин», демонструючи залучення гідроксильних груп до процесу гелеутворення. Аналогічно зменшується інтенсивність слабкої смуги деформаційних коливань –О–Н спиртових груп (1337 см^{-1}). Для гелю зберігається характер і зменшується інтенсивність широкої тріади смуг у діапазоні частот від 1200 до 900 см^{-1} (максимуми за 1112 , 1045 , 994 см^{-1}) порівняно з гліцерином (максимуми за 1112 , 1039 , 996 см^{-1}).

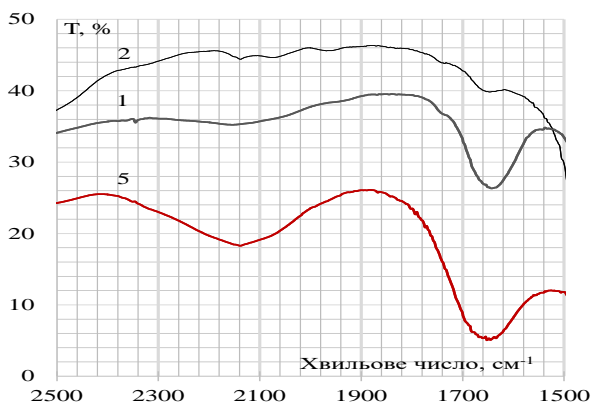


Рис. 2.29 – ІЧ-спектри зразків: 1 – агар, 2 – гліцерин, 5 – гелева система «агар-вода-гліцерин» у діапазоні частот $2500\text{--}1500\text{ см}^{-1}$

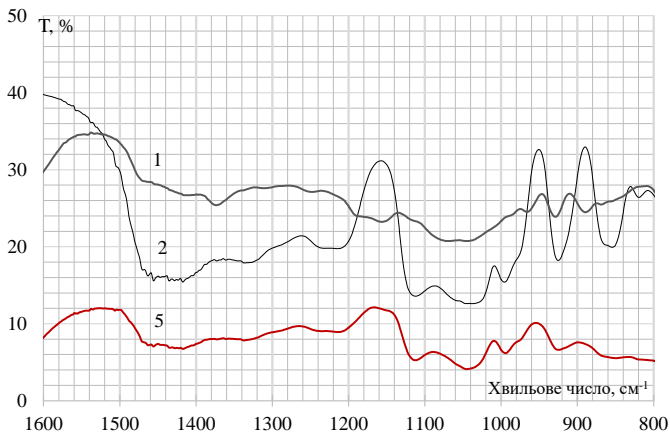


Рис. 2.30 – ІЧ-спектри зразків 1 – агар, 2 – гліцерин, 5 – гелева система «агар-вода-гліцерин» у діапазоні частот 1600–800 см^{-1}

Після утворення гелю істотно змінюється характер та інтенсивність слабкої смуги поглинання естерів сульфату агару з максимумом за 1374 см^{-1} – у гелевій системі з гліцерином положення максимуму зберігається, проте сама смуга практично не виражена. Смуга за 1159 см^{-1} в спектрі агару, яка може бути віднесена до груп $\text{R-SO}_2\text{-R}$, у спектрі гелю відсутня. Значно зменшується в гелі інтенсивність слабкої смуги агару за 1248 см^{-1} , яка є загальною для всіх сульфатних груп. До того ж у гелі вона зміщується у бік більш низьких частот (1234 см^{-1}).

Після утворення гелю агару у діапазоні від 1140 см^{-1} до 950 см^{-1} значно змінюється широка смуга середньої інтенсивності. У спектрі гелю відсутня смуга середньої інтенсивності (1072 см^{-1}), характерна для 3,6-ангідрогалактози. Відсутніми є також смуги за 967 см^{-1} і 857 см^{-1} (слабка смуга, характерна для галактозо-4-сульфату), 812 см^{-1} (слабка смуга, характерна для 3,6-ангідрогалактозо-2-сульфату).

Результати дослідження ІЧ-спектрів меду і гелів на основі агару з гліцирином з додаванням меду «агар-вода-гліцерин-мед» порівняно зі спектром гелю «агар-вода-гліцерин» наведено на рис. 2.31.

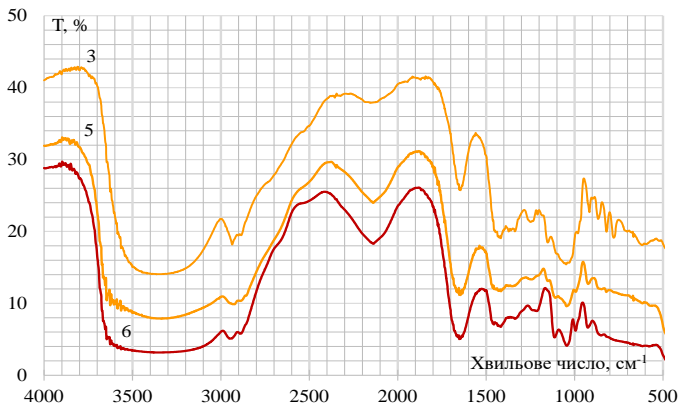


Рис. 2.31 – ІЧ-спектри зразків: 3 – мед, 5 – гелева система «агар-вода-гліцерин», 6 – гелева система «агар-вода-гліцерин-мед»

Визначено типовий для природного меду ІЧ-спектр поглинання (рис. 2.31, зразок 3) з відповідним віднесенням характеристичних частот у 6 областях спектру: 3600–3200, 3000–2800, 1700–1600, 1540–1175, 1175–940, 940–700 cm^{-1} . Зокрема, присутні смуги поглинання:

в області 3600–3200 cm^{-1} з максимумом за 3365 cm^{-1} – валентних коливань –ОН вуглеводів і карбонових кислот, валентних коливань –NH₂ вільних амінокислот (інтенсивна);

2936 cm^{-1} і 2903 cm^{-1} – валентних коливань –CH–, –CH₂–;

2152 cm^{-1} – валентних коливань асоційованих груп –ОН і води;

1645 cm^{-1} – валентних коливань –ОН, деформаційних коливань води, валентних коливань –C=O вуглеводів, деформаційних коливань –NH Амід I

(інтенсивна);

1417 cm^{-1} – комбінації деформаційних коливань –ОН групи –С–ОН і деформаційних коливань –С–Н вуглеводів (слабка);

1048 cm^{-1} – валентних коливань С–О в глікозидних зв'язках вуглеводів (середня);

916 cm^{-1} , 866 cm^{-1} , 819 cm^{-1} 778 cm^{-1} – деформаційних коливань –С–Н аномерів і циклів вуглеводів (середні).

У спектрі меду також відмічено слабку смугу з максимумом за 1151 cm^{-1} , який відповідає деформаційним коливанням групи С–О і який пов'язує з присутністю піранозного кільця.

Оскільки спектральний діапазон від 1200 до 700 cm^{-1} , (1048 cm^{-1} – максимальне поглинання) встановлено як характерний для природного меду, то під час подальшого аналізу модельного гелю з додаванням меду доцільно дослідити саме цю спектральну область. Спектри поглинання гелів «агар-вода-гліцерин-мед» (рис. 2.31, зразок 6) і «агар-вода-гліцерин» (рис. 2.31, зразок 5) мають подібний характер і відрізняють інтенсивністю окремих смуг. Так, спостерігається зменшення інтенсивності смуги валентних коливань С–С вуглеводів (1245 cm^{-1}), яка водночас зміщується в область більших частот, порівняно з медом (1249 cm^{-1}) і гелем «агар-вода-гліцерин» (1234 cm^{-1}). Змінюється характер спектру гелю з медом (рис. 3.31, зразок 6) в області 900–600 cm^{-1} , в якій відсутні смуги (916 cm^{-1} , 866 cm^{-1} , 819 cm^{-1} 778 cm^{-1}), характерні для деформаційних коливань –С–Н аномерів і циклів вуглеводів меду (рис. 2.31, зразок 4).

У гелі «агар-вода-гліцерин-мед» (рис. 2.31, зразок 6) за частоти 1151 cm^{-1} відмічена слабка смуга поглинання, яка може бути віднесеною до деформаційних коливань С–О, пов'язаних із присутністю піранозного кільця вуглеводів меду, якої не було в гелі «агар-вода-гліцерин».

ІЧ-спектри зразків гелю (рис. 2.32), до якого уведено кунжутний порошок

«агар-вода-гліцерин-мед-кунжутний порошок», відрізняються від гелів «агар-вода-гліцерин» і «агар-вода-гліцерин-мед» на всіх ділянках спектру ($3600\text{--}3200\text{ см}^{-1}$, $3000\text{--}2800\text{ см}^{-1}$, $2500\text{--}1800\text{ см}^{-1}$, $1800\text{--}1500\text{ см}^{-1}$, $1500\text{--}1200\text{ см}^{-1}$, $1200\text{--}940\text{ см}^{-1}$, $940\text{--}700\text{ см}^{-1}$). Тому доцільно провести аналіз впливу додавання кунжутного порошку і віднесення частотних положень основних смуг поглинання функціональних груп речовин кунжутного порошку (рис. 2.32).

Кунжутний порошок має один з найбільших вмістів олії серед основних олійних культур [132]. Він також багатий білками, вуглеводами, вітамінами, поліненасиченими жирними кислотами у складі триацилгліцеринів жиру, лігнанами (сезамін та сезамолін), токоферолом, фітостеринами, фітатами та іншими мікронутрентами [133]. Особливості його хімічного складу мають знайти відображення в ІЧ-спектрах поглинання (рис. 2.33).

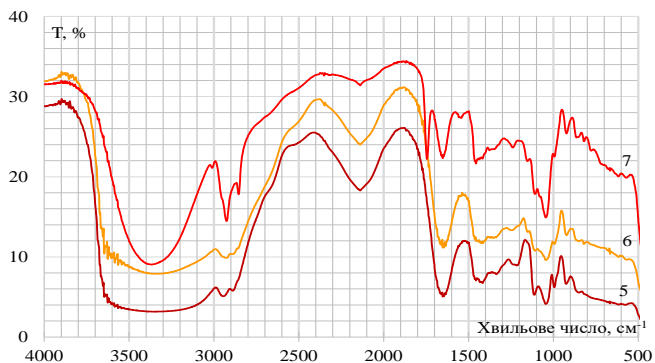


Рис. 2.32 – ІЧ -спектри зразків: 5 – гелева система «агар-вода-гліцерин», 6 – гелева система «агар-вода-гліцерин-мед», 7 – гелева система «агар-вода-гліцерин-мед-кунжутний порошок»

Вивчено інфрачервоні спектри кунжутного порошку (рис. 2.33, зразок 4) і зроблено аналіз характеристичних смуг поглинання, віднесених до відповідних типів валентних і деформаційних коливань:

– в області $3600\text{--}3200\text{ см}^{-1}$ з максимумом за 3351 см^{-1} – валентних коливань –OH вуглеводів і фенольного, валентних коливань –NH Аміду А (інтенсивна); 3009 см^{-1} – валентних асиметричних коливань C–H у групах –CH=CH– у цис-формі (здебільшого лінолева кислота у складі триацилгліцеринів кунжутної олії); 1736 см^{-1} – валентних коливань C=O естерів (триацилгліцеринів кунжутної олії); 1653 см^{-1} – валентних коливань –OH , –C=O вуглеводів, деформаційних коливань –NH Аміду І (інтенсивна); 1546 см^{-1} – валентних коливань –OH , –C=O вуглеводів, комбінація деформаційних коливань –NH і валентних коливань CN Аміду ІІ (середня); 1240 см^{-1} , 1163 см^{-1} , 1098 см^{-1} – тріада смуг естерів (триацилгліцеринів кунжутної олії) з комбінацією валентних коливань груп $\text{–CH}_2\text{–OCO–}$ і $\text{–OCH}_2\text{–CH}_2$ (слабка, середня і слабка);

Можна припустити малоімовірним, що слабка смуга за частоти 1240 см^{-1} може бути віднесеною до смуги Аміду ІІІ і якій відповідає комбінація деформаційних коливань –NH і валентних коливань CN .

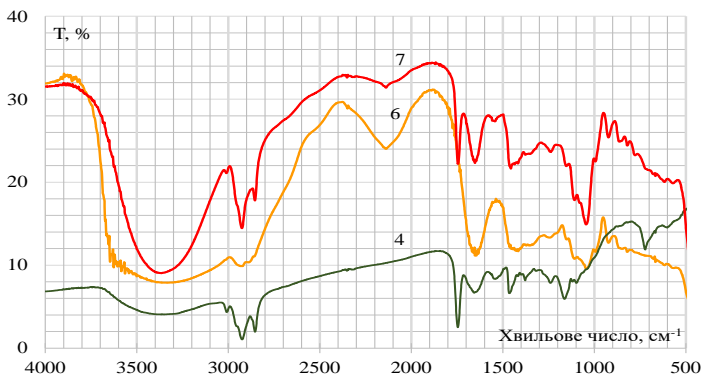


Рис. 2.33 – ІЧ-спектри зразків: 4 – кунжутний порошок, 6 – гелева система «агар-вода-гліцерин-мед», 7 – гелева система «агар-вода-гліцерин-мед-кунжутний порошок»

Спектр поглинання гелю з кунжутним порошком (рис. 2.32, 2.33, зразок 7) узгоджується з профілем спектру кунжутного порошку і суттєво змінює характер смуг поглинання порівняно з гелями «агар-вода-гліцерин» (рис. 2.32, зразок 5) і «агар-вода-гліцерин-мед» (рис. 2.32, 2.33, зразок 6) на ділянках $3600\text{--}2600\text{ см}^{-1}$, $2400\text{--}1800\text{ см}^{-1}$, $1800\text{--}1500\text{ см}^{-1}$.

Так, саме додавання до гелю кунжутного порошку, багатого на білкові, фенольні сполуки, жири з вмістом поліненасичених кислот, зумовлює формування чіткої широкої інтенсивної смуги з максимумом за 3366 см^{-1} , (валентні коливання --OH вуглеводів і фенольного гідроксили, валентних коливань --NH Аміду А, адсорбційно зв'язаної води); слабкої смуги за 3011 см^{-1} (валентні асиметричні коливання C--H у групах --CH=CH-- у цис-формі здебільшого лінолевої кислоти у складі триацилгліцеринів кунжутної олії); посилення інтенсивності широкої смуги за 2926 см^{-1} і 2855 см^{-1} (валентні коливання C--H у групах $\text{--CH}_2\text{--}$). Також на ділянці $1800\text{--}1500\text{ см}^{-1}$ для спектру системи «агар-вода-гліцерин-мед-кунжутний порошок» порівняно зі зразками «агар-вода-гліцерин» і «агар-вода-гліцерин-мед» спостерігається розділення і поява трьох виражених смуг – за 1745 см^{-1} (валентні коливання C=O естерів – триацилгліцеринів кунжутної олії), 1652 см^{-1} (валентні коливання --OH , --C=O вуглеводів, деформаційних коливань --NH Аміду І, деформаційних коливань води), 1544 см^{-1} (валентні коливання --OH , --C=O вуглеводів, комбінація деформаційних коливань --NH і валентних коливань CN Аміду ІІ). Високочастотний зсув смуги за 1652 см^{-1} порівняно з максимумом поглинання, який відповідає деформаційним коливанням води (1645 см^{-1}), свідчить про наявний перехід від мономерів і димерів молекул води до тримерів і олігомерів.

Для гелю «агар-вода-гліцерин-мед-кунжутний порошок» заслуговує на увагу факт зменшення інтенсивності широкої смуги валентних коливань асоційованих груп --OH і води з максимумом за 2151 см^{-1} , а також зміщення її у

бік більш високих частот порівняно з водою (2150 см^{-1}) і гелями без кунжуту (2139 см^{-1}). Під час утворення в бінарному розчиннику вода-гліцерин гелю «агар-вода-гліцерин» і «агар-вода-гліцерин-мед», яке супроводжувалося значним збільшенням числа міжмолекулярних водневих зв'язків між ланцюгами агарози, агарози і води, агарози і олігосахаридів меду та ін., на ІЧ-спектрах було відмічено оформлення інтенсивної широкої смуги з максимумом за 2139 см^{-1} . Додавання під час виготовлення гелю кунжутного порошку може зумовлювати зменшення інтенсивності деформаційних коливань молекул води, числа утворення водневих зв'язків у системі і означати збільшення кількості слабо зв'язаної води.

На інших ділянках спектру також були відзначені певні відмінності смуг поглинання зразків гелів, характер яких більш наочно можна порівняти на ділянці спектру $1600\text{--}800\text{ см}^{-1}$ (рис. 2.34).

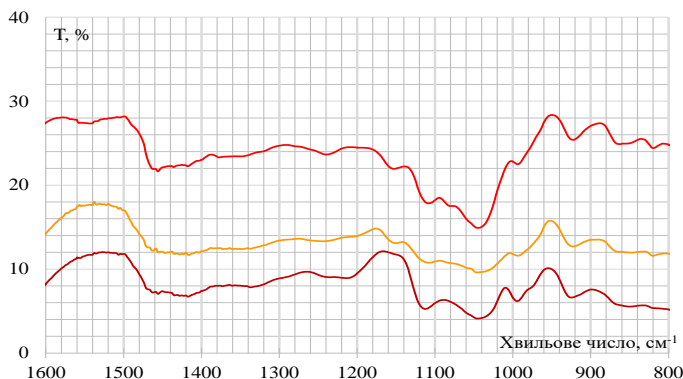


Рис. 2.34 – ІЧ-спектри зразків гелевих систем: 5 – «агар-вода-гліцерин», 6 – «агар-вода-гліцерин-мед», 7 – «агар-вода-гліцерин-мед-кунжутний порошок» у діапазоні частот $1600\text{--}800\text{ см}^{-1}$

Триада смуг естерів (триацилгліцеринів кунжутної олії) 1240 см^{-1} , 1163 см^{-1}

1098 cm^{-1} спектру кунжутного порошку в спектрі гелю з ним – не виявилася. Водночас широка смуга поглинання з максимумами для зразків 5, 6, 7 відповідно 1234 cm^{-1} , 1245 cm^{-1} , 1240 cm^{-1} може бути віднесена до валентних коливань С–С вуглеводів (1249 cm^{-1}) і всіх сульфатних груп агару.

У спектрах зразків гелів з медом (рис. 2.34, зразок 6) і з медом та кунжутом (рис. 2.34, зразок 7) також відмічено слабку смугу з максимумом відповідно за 1151 cm^{-1} і 1153 cm^{-1} , який відповідає деформаційним коливанням групи С–О і який пов'язують з присутністю піранозного кільця. Для гелю «агар-вода-гліцерин-мед» така смуга не виражена.

Для всіх зразків 5, 6, 7 присутні смуги деформаційних коливань С–О (1112 cm^{-1} , 1109 cm^{-1} , 1108 cm^{-1}), валентних коливань С–О глікозидних зв'язків вуглеводів (1045 cm^{-1} , 1046 cm^{-1} , 1045 cm^{-1}), деформаційних коливань –С–Н аномерів і циклів вуглеводів.

У спектрах гелів не виражені смуги, характерні для 3,6-ангідрогалактози (1072 cm^{-1}), галактозо-4-сульфату (967 cm^{-1} і 857 cm^{-1}), 3,6-ангідрогалактозо-2-сульфату (812 cm^{-1}).

Даними аналізу ІЧ-спектрів під час утворення гелю в бінарному розчиннику вода-гліцерин доведено виникнення додаткових зв'язків між структуро-утворювачем на основі агару і запропонованими рецептурними компонентами – медом і кунжутним порошком, а також суттєве обмеження рухливості води через утворення кластерів води числом молекул від 3 до 6.

У спектрі гелю «агар-вода-гліцерин» слабка смуга поглинання характерна для деформаційних коливань груп С–О–Н гліцерину, зменшує його інтенсивність, що підтверджує залучення гідроксильних груп до процесу гелеутворення, а її високочастотний зсув, порівняно з максимумом поглинання, свідчить про наявний перехід від мономерів і димерів молекул води до тримерів і олігомерів.

Доведено, що утворення гелю «агар-вода-гліцерин» і «агар-вода-гліцерин-

мед» в бінарному розчиннику вода-гліцерин супроводжується значним збільшенням числа міжмолекулярних водневих зв'язків між ланцюгами агарози, агарози і води, агарози і олігосахаридів меду.

Встановлено, що додавання до гелевої системи кунжутного порошку може зумовлювати певне зменшення інтенсивності деформаційних коливань молекул води під час виготовлення гелю, а значить зменшувати утворення кількості водневих зв'язків у системі і сприяти збільшенню кількості слабко зв'язаної води.

Відмічено слабку смугу поглинання у гелі «агар-вода-гліцерин-мед», яка може бути віднесеною до деформаційних коливань C–O, вірогідно, пов'язаних із присутністю піранозного кільця вуглеводів меду, наявності якого не було в гелі «агар-вода-гліцерин».

Отже, було використано моделі, які дозволили дослідити різні аспекти технології батончиків желейних з використанням меду та борошна кунжутного. Модель «чорний ящик» була використана для аналізу загальної функціональності системи, модель «склад системи» дозволила визначити оптимальний склад компонентів, а модель «структура системи» була спрямована на вивчення структурних особливостей системи.

Крім моделювання, були проведені різні фізико-хімічні, реологічні та дериватографічні дослідження модельних систем на основі агару у поєднанні з структурними компонентами начинки желейного батончика. Ці дослідження дозволили отримати більш детальну інформацію про властивості та поведінку системи під впливом різних факторів.

Проведено наукове обґрунтування впливу гліцерину на міцність гелеподібних систем на основі агару, фурцелларану, каппа-карагенану та желатину. Дослідження показали, що додавання гліцерину в діапазоні від 10,0% до 50,0% до модельних систем на основі агару, фурцелларану та желатину сприяє збільшенню міцності гелевої структури. Для системи на основі

капакарагенану доцільним є внесення гліцерину в діапазоні від 10,0% до 40,0%. Однак, додавання гліцерину понад 40,0% призводить до зниження міцності гелю. Крім того, встановлено, що система на основі фуцелларану має значно меншу міцність гелю в порівнянні зі зразками на основі агару, капакарагенану та желатину.

Проведено дослідження впливу концентрацій рецептурних компонентів та температури на в'язкість модельних систем, зокрема: «агар-вода», «агар-вода-гліцерин», «агар-вода-гліцерин-мед», та «агар-вода-гліцерин-мед-кунжутне борошно». Виявлено, що додавання 0,3% гліцерину до розчину на основі агару збільшує його в'язкість шляхом сприяння утворенню більшої кількості міжмолекулярних водневих зв'язків, які взаємодіють з агаром. Дослідження також показали, що додавання меду у кількості $25 \pm 2\%$ сприяє формуванню стійкої структури начинки.

Проведено ДСК дослідження рецептурних компонентів батончика, таких як агар, гліцерин, мед, кунжутне борошно, а також для модельних систем: «агар-вода-гліцерин», «агар-вода-гліцерин-мед», «агар-вода-гліцерин-мед-кунжутне борошно». В рамках дослідження були вивчені ендотермічні піки, температурні переходи та вплив компонентів модельних систем на їх теплофізичні характеристики.

Порівняльний аналіз кривих (TG, DTG, DTA, T) показав, що на всіх етапах розкладання експериментальних агарових гелів спостерігаються масові втрати, що пов'язані з випаровуванням води. Однак у складних гелях спостерігається затримка процесу видалення води, що пов'язана з утворенням додаткових взаємодій між агаром та рецептурними компонентами желейного батончика - медом і кунжутним борошном. Було підтверджено, що зразок «агар-вода-гліцерин-мед-кунжутне борошно» має більшу термічну стійкість.

Аналіз ІЧ-спектрів під час процесу гелеутворення в бінарному розчиннику вода-гліцерин підтвердив наявність додаткових взаємодій між

структурутворювачем на основі агару та запропонованими рецептурними компонентами, такими як мед і кунжутний порошок. Також було виявлено значне обмеження рухливості води через утворення водних кластерів з кількістю молекул від 3 до 6. Встановлено, що утворення гелю в бінарному розчиннику вода-гліцерин збільшує кількість міжмолекулярних водневих зв'язків між ланцюгами агарози, агарозою та водою, агарозою та олігосахаридами меду. Додавання кунжутного порошку до гелевої системи може призводити до певного зменшення інтенсивності деформаційних коливань молекул води під час утворення гелю, що сприяє зменшенню кількості водневих зв'язків у системі та сприяє збільшенню кількості слабо зв'язаної води.

РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ БАТОНЧИКІВ ШОКОЛАДНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕДУ ТА БОРОШНА КУНЖУТНОГО

3.1 Дослідження властивостей меду та борошна кунжутного, визначення хімічного складу та харчової цінності

Дослідження властивостей меду та борошна кунжутного, включаючи визначення їх хімічного складу та харчової цінності, є важливим аспектом для розуміння їх потенційного впливу на якість та харчову цінність батончиків желейних.

Мед – це природний продукт, що має довгу історію використання в харчовій, медичній та косметичній галузях. Він виробляється бджолами з нектару квітів та має широкий спектр властивостей, які роблять його цінним інгредієнтом.

Зовнішній вигляд меду залежить від його походження, типу квітів, з яких бджоли зібрали нектар, та способу його збирання та переробки. Мед може мати різні кольори – від світло-жовтого до темно-коричневого, а також різні консистенції, від рідкого до густого. Його смак і аромат також варіюються від ніжно-солодкого до насичено-квіткового.

Хімічний склад меду багатий і складається з різних компонентів, які вносять свій внесок у його харчову цінність та корисні властивості. В основному, мед складається з вуглеводів, зокрема глюкози та фруктози, які надають йому солодкий смак. Глюкоза і фруктоза є природніми цукрами, які швидко засвоюються організмом та надають енергію. Крім того, мед містить певну кількість амінокислот, хоча їх вміст не є значним порівняно з іншими джерелами білків.

Соняшниковий мед – це вид меду, який отримують від нектару квітів соняшнику. Він відзначається своєрідним смаком, ароматом і характеристиками, які його відрізняють від інших видів меду. Соняшниковий

мед має насичений і пряний смак, інтенсивний аромат та золотистий колір. Він часто має легку гіркоту і пікантність, що робить його особливим і цікавим для багатьох людей. Цей мед використовується як самостійний продукт для споживання, а також як інгредієнт у багатьох кулінарних рецептах.

Хімічний склад соняшникового меду може варіюватися залежно від регіону, умов вирощування соняшника та інших факторів. Однак, в загальному, соняшниковий мед містить велику кількість вуглеводів, переважно у формі глюкози та фруктози. Він також містить певну кількість води, мінералів, вітамінів та інших корисних речовин.

Мінерали, що містяться в соняшниковому меді, включають калій, кальцій, магній та залізо. Калій має важливу роль у підтримці нормального функціонування серцево-судинної системи та регулюванні рівня тиску. Кальцій є необхідним для здоров'я кісток та зубів, а також впливає на нервову та м'язову функцію. Магній сприяє здоров'ю серця та має заспокійливу дію на нервову систему. Залізо є важливим компонентом гемоглобіну, що забезпечує доставку кисню до тканин.

Соняшниковий мед також багатий на вітаміни, зокрема вітамін С та вітаміни групи В. Вітамін С є потужним антиоксидантом, який сприяє імунній системі та захисту від вільних радикалів. Вітаміни групи В впливають на роботу нервової системи, метаболізм та енергетичний обмін організму.

Наведена нижче таблиця містить хімічний склад та харчову цінність соняшникового меду на 100 грамів продукту.

Таблиця 3.1

Хімічний склад та харчова цінність соняшникового меду

Найменування компонентів	Вміст
1	2
Білки	0,4 г
Жири	0 г

Закінчення табл. 3.1

1	2
Вуглеводи	80 г
Глюкоза	30 г
Фруктоза	38 г
Вітамін В1	0,01 мг
Вітамін В2	0,05 мг
Вітамін С	2 мг
Калій	36 мг
Кальцій	14 мг
Магній	3 мг
Залізо	0,8 мг

Соняшниковий мед є чудовим доповненням до раціону харчування завдяки своєму природному смаку, корисним речовинам та потужним властивостям. Він може бути використаний як підсолоджуючий інгредієнт у технологіях різних кулінарних та кондитерських виробів для заміни цукру.

Загалом, соняшниковий мед володіє численними корисними властивостями, що роблять його цінним додатком до раціону харчування. Його природний смак, багатий хімічний склад та різноманітність застосувань роблять його популярним продуктом серед споживачів. Правильне включення соняшникового меду до харчової дієти може сприяти покращенню загального здоров'я та благополуччю організму.

Кунжутне борошно є цінним інгредієнтом, який використовується в кулінарії і має багато корисних властивостей. Воно отримується шляхом помелу насіння кунжуту, яке має характерний аромат і ніжний смак. Кунжутне борошно має багату історію в азіатській кухні і використовується як складова частина багатьох страв.

Одна з основних переваг кунжутного борошна полягає в його харчовій

цінності. Воно багате на білки, жирні кислоти, вітаміни та мінерали. Кунжут містить велику кількість багатocінних жирів, включаючи Омега-3 та Омега-6, які сприяють здоров'ю серця і судин.

Крім того, кунжутне борошно є відмінним джерелом дієтичних волокон, які сприяють здоровому травленню і підтримці нормальної роботи кишечника. Волокна також допомагають контролювати апетит і підтримувати нормальний рівень цукру в крові.

Щодо хімічного складу, кунжутне борошно містить різні макро- та мікроелементи, включаючи кальцій, залізо, магній, фосфор і мідь. Ці елементи є важливими для зміцнення кісток і зубів, підтримки здоров'я нервової системи та енергетичного метаболізму.

Кунжутне борошно також містить антиоксиданти, які захищають клітини від пошкоджень вільними радикалами і можуть допомагати у зниженні запалення в організмі. Також воно відоме своїми антибактеріальними властивостями, що можуть допомагати у боротьбі зі шкідливими мікроорганізмами і запобігати поширенню інфекційних захворювань. Воно може мати також протизапальні ефекти, допомагаючи заспокоювати запалення в організмі та зменшувати ризик розвитку хронічних захворювань.

Кунжутне борошно має також високу стійкість до окислення, що дозволяє йому тривалий час зберігати свої корисні властивості без втрати якості. Це робить його популярним інгредієнтом в харчовій промисловості, де воно використовується для виробництва різних видів харчових продуктів, таких як хліб, печиво, кекси та солодоці.

У кулінарії кунжутне борошно має широкий спектр застосувань. Воно може бути використане як добавка до тіста для хлібу, печива та тістечок, додаватися до супів, соусів та салатів для підвищення їх смаку і харчової цінності. Кунжутне борошно також може бути використане для приготування кунжутних смажених кульок, млинців та кунжутних соусів.

Нижче наведений хімічний склад та харчова цінність борошна кунжутного на 100 грамів продукту табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Хімічний склад та харчова цінність борошна кунжутного

Найменування компонентів	Вміст
Білки	40 г
Жири	11,9 г
Вуглеводи	35 г
Вода	7 г
Вітамін А	3 мг
Вітамін В1	2,53 мг
Вітамін В2	0,27 мг
Вітамін РР	12,6 мг
Калій	425 мг
Кальцій	150 мг
Магній	362 мг
Залізо	14,3 мг

Узагальнюючи, використання меду та кунжутного борошна в технології виробництва желейних батончиків вносить особливості, які позитивно впливають на якість та харчову цінність готових продуктів. Обидва інгредієнти володіють цікавим хімічним складом, а також мають корисні властивості, які сприяють здоровому харчуванню.

Мед, завдяки своїй природній солодкості і високому вмісту цінних поживних речовин, є прекрасною альтернативою для традиційних солодоців. Він надає батончику желейну текстуру, підсилює смакові відтінки і пропонує відчуття задоволення від споживання. Кунжутне борошно, з своїм характерним смаком і текстурою, додає батончику унікальний аромат і хрусткість. Крім

того, воно приносить значну кількість білків, жирів і мінералів, зокрема кальцію, магнію і заліза, що допомагають підтримувати здоров'я кісток, м'язів і крові.

Таким чином, використання меду та кунжутного борошна у технології желейних батончиків додає не лише смакові якості, але й покращує їхню харчову цінність. Ці інгредієнти забезпечують більш збалансований склад продукту, надають йому природну солодкість, багатий аромат і багатоцінні поживні речовини. Завдяки цьому, батончики желейні з використанням меду та кунжутного борошна можуть бути вигідним вибором для тих, хто прагне поєднати задоволення від смаку і користь для здоров'я.

3.2 Особливості технологічного процесу виробництва батончиків желейних з використанням меду та борошна кунжутного

Особливості технологічного процесу виробництва батончиків желейних з використанням меду та борошна кунжутного мають вагоме значення для отримання високоякісного продукту з бажаною текстурою, смаковими властивостями та довготривалим збереженням.

Початковим етапом виробництва є підготовка сировини. Мед, кунжутне борошно, агар та гліцерин, що використовуються, мають відповідати вимогам якості та безпечності. При виборі кунжутного борошна необхідно звернути увагу на його якість та ступінь обробки для забезпечення необхідних властивостей готової продукції.

Далі, важливою складовою є гідратація агару у поєднанні з гліцерином, а також змішування системи з медом та кунжутним борошном. Цей процес дозволяє отримати гелеву основу, яка забезпечує необхідну текстуру батончиків. Оскільки, у переважній більшості технологій батончиків, мед нагрівається до температури 80-90 °С, при цьому його поживні властивості погіршуються. Особливістю додавання меду соняшникового в технології

запропонованих нами батончиків є його нагрівання до температури не вище 45 °С, щоб зберегти його природні харчові властивості і біологічну активність. Це дозволяє зберегти максимальну кількість корисних речовин, які притаманні меду, включаючи ферменти, вітаміни та мінерали.

Одним з важливих етапів технологічного процесу є правильне змішування компонентів яке забезпечує рівномірний розподіл сировини та допомагає уникнути утворення грудочок або нерівномірностей у готовій масі. Застосування спеціального устаткування та контрольованого процесу змішування гарантує однорідність і стабільність продукту.

Після цього настає етап формування маси. За допомогою спеціальних форм або пресів батончики набувають бажаної форми та розміру. Також необхідно забезпечити контроль якості продукції на кожному етапі. Це означає оцінку сенсорних властивостей, таких як смак, аромат, текстура, а також зовнішнього вигляду. На наступному етапі технологічного процесу, після формування маси та термічної обробки, батончики піддаються процесу охолодження і затвердіння. Це необхідно для стабілізації текстури та забезпечення правильної консистенції продукту.

Для досягнення оптимальної якості та довготривалого збереження батончиків, важливо забезпечити правильну упаковку. Упаковка повинна бути герметичною, щоб запобігти впливу зовнішніх факторів, таких як волога та кисень, на якість продукту. Використання високоякісних упаковочних матеріалів та вакуумних упаковок може забезпечити довготривалу свіжість та збереження поживних речовин.

3.3. Аналіз процесу структуроутворення желейної маси на основі агару з додаванням гліцерину

Желейні кондитерські вироби характеризуються драгелеподібною структурою, яка формується за рахунок присутності в їхній рецептурі

високомолекулярних речовин, здатних за певних умов утворювати студні. Структура описує будову студня, а, також його гомогенність, її добре видно на його поверхні після розлому. Агаровий студень має більш жорстку структуру, ніж пектиновий. Отримання бажаної структури желейного батончика залежить від багатьох факторів, зокрема від рецептурних компонентів. Основна проблема при створенні желейних кондитерських виробів без використання цукру полягає в тому, що він одночасно є не лише смаковим компонентом, а й впливає на процес драглеутворення. Однак, для формування агарового студня присутність цукру не є обов'язковою, але при внесенні його в розчин міцність студня підвищується [48].

Агар харчовий є високомолекулярним полісахаридом, що володіє желуючими властивостями. Водний розчин, що містить до 1 % агару, утворює міцний студень зі склоподібним зламом. Температура, при якій агар у розчині утворює студень 38-45 °С.

Гліцерин харчовий є ще одним важливим інгредієнтом, який може використовуватись для кращого формування агарових студнів. Він має безбарвну та безсмакову консистенцію, що робить його ідеальним для використання у харчовій промисловості.

Гліцерин відіграє декілька важливих ролей у процесі желеутворення. По-перше, він є гумектантом, тобто речовиною, яка забезпечує еластичність та гнучкість гелю. Це дозволяє отримати продукт з однорідною текстурою та приємною жувальною консистенцією.

По-друге, гліцерин виступає в якості зв'язуючого компонента та добре зберігає вологу. Він притягує та утримує воду, що допомагає підтримувати желеву масу свіжою та м'якою протягом тривалого часу. Крім того, гліцерин є природним підсолоджувачем. Він додає легку солодкість до желевої маси, що в свою чергу може покращити смакові відтінки желейних батончиків.

Досліджували механізм впливу різних дозувань гліцерину (зразок 1 –

контроль; зразок 2 – 0,2 %; зразок 3 – 0,3 %; зразок 4 – 0,4 %;) на пластичну міцність гелевої маси для виробництва батончиків у процесі вистойки. Вимірювання пластичної міцності здійснювали через кожні 10 хв до досягнення максимального значення пластичної міцності.

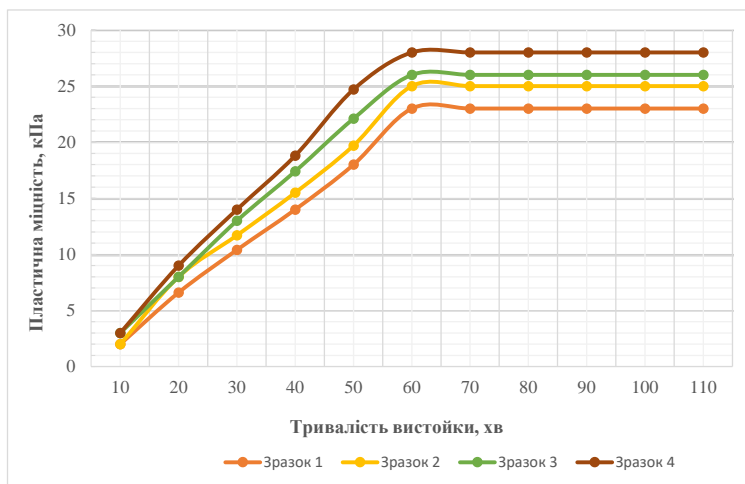


Рис. 3.1 – Динаміка зміни пластичної міцності желейної маси при різних дозах концентрації гліцерину.

Спостерігається зростання пластичної міцності желейної мармеладної маси зі збільшенням тривалості вистоювання, оскільки відбувається поступове зміцнення просторової сітки за рахунок взаємодії полярних груп макромолекул, іонізованих груп. Відбувається впорядкування щодо дільних ділянок молекул. Ці ділянки зазвичай орієнтуються паралельно одне одному, оскільки таке орієнтування сприяє зменшенню вільної енергії системи [45].

Додавання до рецептури желейного батончика гліцерину сприяє скороченню часу утворення драгледоподібної структури (рисунок 3.1), оскільки гліцерин володіє високою водопоглинальною здатністю. Таким чином, вода поглинається із сольватних оболонок молекул агару, при цьому збільшується

ступінь дегідратації, внаслідок чого процес формування студнів протікає швидше.

При внесенні концентрації гліцерину 0,2 % відбувається незначне збільшення пластичної міцності експериментальних зразків (25,3 кПа) порівняно з контролем (23,1 кПа) (рисунок 4.1, зразки 2; 1). При збільшенні дозування гліцерину від 0,2 до 0,3 %, незважаючи на подальше збільшення вологості, пластична міцність желейної маси значно зростає, тому що відбувається синергетична дія структуроутворюючих компонентів. За значенням пластичної міцності найбільш прийнятний зразок 4 (28,45 кПа), який містить максимальне дозування гліцерину (0,4 %). Але за органолептичними показниками він поступається зразкам 2 і 3. Контрольний зразок характеризується найменшим значенням пластичної міцності 23,1 кПа. Таким чином, раціональну сукупність властивостей має зразок 3, який містить 0,3 % гліцерину, при цьому його пластична міцність є досить високою та становить - 26,1 кПа.

3.4 Визначення раціональних дозувань меду та борошна кунжутного у технології нового продукту

Технологічний процес виробництва батончиків желейних з використанням меду та борошна кунжутного містить наступні стадії: підготовка сировини, приготування рідкої системи на основі агару, змішування маси з додатковими компонентами, драглетування желейної маси, формування з подальшим глазуруванням, вистоювання, фасування, пакування виробів.

Для встановлення раціональних дозувань додаткових компонентів, меду та борошна кунжутного, в технології батончиків желейних були виготовлені експериментальні зразки з різною кількістю дозувальних компонентів. За контроль обрано батончик Fizi без цукру з додаванням борошна мигдалю. В зразках, що досліджувались в якості структуроутворюючого компоненту

використовували рідку систему «ага-вода-гліцерин», в якості підсолоджувача використовували мед соняшниковий, в якості безглютенового компонента, для підвищення харчової цінності використовували кунжутне борошно.

Встановлення раціональних дозувань меду соняшникового та борошна кунжутного визначали органолептичним методом. Для цього були підготовлені зразки з наступним дозуванням (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Встановлення раціональних дозувань меду соняшникового та борошна кунжутного

Найменування зразка	Дозування меду та борошна кунжутного, %
Контроль	-
Зразок 1	35:25
Зразок 2	30:30
Зразок 3	25:35
Зразок 4	25:40

На основі наведеної таблиці з дозуванням меду та борошна кунжутного у рецептурі батончика желейного було проведено оцінку органолептичних показників різних зразків.



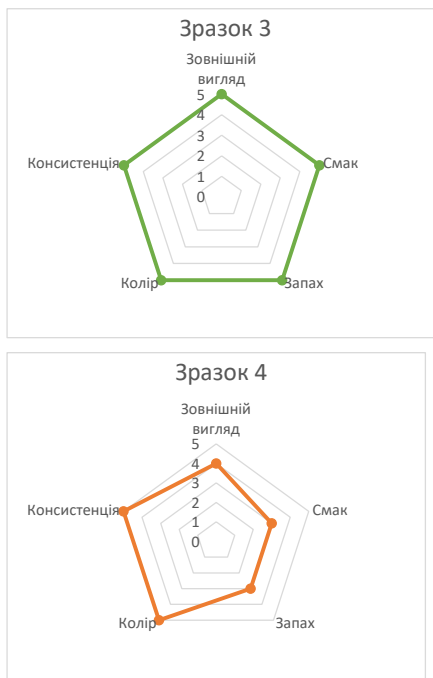


Рис. 3.2 – Органолептичні показники експериментальних зразків батончиків желейних з додаванням меду та борошна кунжутного

Зразок № 3 з дозуванням меду та борошна кунжутного в співвідношенні 25:35 % відповідно, проявив найкращі органолептичні властивості, що робить його привабливим варіантом для виробництва. Він виділяється на тлі інших зразків своєю збалансованістю і гармонійним поєднанням компонентів. Його відмінна органолептична характеристика визначається декількома факторами.

По-перше, співвідношення 25:35 % меду та борошна кунжутного забезпечує оптимальну солодкість та аромат меду, який приємно поєднується з неперевершеним смаком кунжуту. Це створює гармонійну синергію між двома інгредієнтами і робить смак батончика насиченим та приємним для споживання.

По-друге, зразок № 3 має оптимальну текстуру, де відчуття м'якості та еластичності поєднується зі зручністю при пережовуванні. Це досягається завдяки правильному балансу агару, який використовується для створення желе-подібної консистенції. Зразок № 3 має приємну жувальну текстуру, не занадто твердий або липкий, що забезпечує комфортне споживання.

**Органолептичні показники експериментальних зразків батончиків
желейних з додаванням меду та борошна кунжутного**

Найменування зразка	Зовнішній вигляд	Смак	Запах	Колір	Консистенція
Зразок 1	Притаманий батончиком, з помітними нерівностями	Надто солодкий, виражений смак меду	Занадто виражений запах меду	Яскраво-коричневий	Надто м'яка
Зразок 2	Притаманий батончиком, з помітними нерівностями	Солодкий, виражений смак меду	Притаманий меду та кунжуту	Яскраво-коричневий	Надто м'яка
Зразок 3	Притаманий батончиком, з рівною поверхнею	В міру солодкий зі смаком кунжуту	Притаманий меду та кунжуту	Янтарно-коричневий	В міру м'яка, еластична
Зразок 4	Притаманий батончиком, з рівною поверхнею	Занадто виражений смак кунжуту	Занадто виражений запах кунжуту	Коричневий	Надто крихка

Зразок № 1 з дозуванням 35 % меду та 25 % борошна кунжутного відрізняється від зразка № 3 надто вираженим солодким смаком. Це може зменшити баланс та гармонію смаку батончика, роблячи його менш привабливим для споживачів.

Зразок № 2 з дозуванням 30 % меду та 30 % борошна кунжутного має помірний смаковий баланс, але його текстура була менш еластичною та м'якою, порівняно зі зразком № 3. Це може вплинути на комфортність споживання батончика.

Зразок № 4 з дозуванням 25 % меду та 40 % борошна кунжутного має виражений смак кунжутного борошна, який перебиває смак меду. Це може знизити приємність та баланс смаку батончика, що робить його менш привабливим для споживачів.

Отже, зразок № 3 з дозуванням меду та борошна кунжутного 25:35 % є оптимальним варіантом у технології виробництва батончиків желейних. Його збалансований смак, приємна текстура та тривалий термін зберігання зроблять його привабливим для споживачів. Крім того, використання меду та борошна кунжутного в рецептурі батончиків желейних додає природніх складників з поживними властивостями, що підкреслює сприятливий аспект цих продуктів для здорового харчування.

3.5 Розробка рецептурного складу та технологічної схеми виробництва батончиків желейних з використанням меду та борошна кунжутного

Сьогодні у харчовій промисловості одним з перспективних напрямків технологічних розробок є виробництво продуктів, які задовольняють потреби швидкого та здорового харчування. Враховуючи це, ми вважаємо, що цей факт повинен бути врахований підприємствами, які спеціалізуються на виготовленні різноманітних батончиків, оскільки ці продукти часто використовуються як швидкий перекус.

Останнім часом споживачі все більше звертають увагу на харчові продукти, які містять корисні та поживні компоненти природного походження і мають відповідні органолептичні властивості. Нами запропоновано інноваційний підхід до виготовлення желейних батончиків шляхом включення до рецептури поживних інгредієнтів – меду та кунжутного борошна, для використання їх у кондитерській галузі та ресторанному господарстві.

Під час попередніх досліджень було встановлено, що ключовими складовими рецептури, які визначають структурно-механічні властивості готового желейного батончика, є агар, гліцерин, мед і кунжутне борошно. Гліцерин виконує роль з'єднувального елемента, який сполучає молекули агару, формуючи міцну просторову структуру начинки батончика. Додавання меду та кунжутного борошна до начинки також має позитивний вплив на ряд фізико-

хімічних показників продукту.

У результаті дослідження аналітичних, органолептичних, структурно-механічних, фізико-хімічних та технологічних властивостей желейного батончика з медом та кунжутним борошном, були отримані дані, що стали підставою для подальшого наукового обґрунтування рецептури (таб. 3.5) та технології виробництва нового продукту (рис. 3.3).

Таблиця 3.5

Рецептурний склад батончиків желейних з використанням меду та борошна кунжутного на 1 шт

№ п/п	Назва сировини	Масова частка сухих речовин, %	Маса сировини, г		Нормативна документація, що регламентує вимоги до якості сировини
			На 1, шт		
			брутто	брутто	
1	Агар	83	0,5	0,5	ДСТУ 16280-2002
2	Гліцерин	98	0,15	0,15	ДСТУ 6824-96
3	Мед соняшниковий	80	12,5	12,5	ДСТУ 4497:2005
4	Борошно кунжутне	98	15	15	ДСТУ 7012:2009
5	Вода	-	17	17	ДСТУ 7525:2014
6	Глазур шоколадна	55	4,8	4,8	ДСТУ 4660:2017

Таблиця 3.6

Рецептурний склад батончиків желейних з використанням меду та борошна кунжутного на 1000 кг.

№ п/п	Назва сировини	Масова частка сухих речовин, %	Маса сировини, кг		Нормативна документація, що регламентує вимоги до якості сировини
			На 100, шт		
			брутто	нетто	
1	2	3	4	5	6
1	Агар	83	10	10	ДСТУ 16280-2002

Закінчення табл. 3.6

1	2	3	4	5	6
2	Гліцерин	98	3	3	ДСТУ 6824-96
3	Мед соняшниковий	80	250	250	ДСТУ 4497:2005
4	Борошно кунжутне	98	300	300	ДСТУ 7012:2009
5	Вода	-	340	340	ДСТУ 7525:2014
6	Глазур шоколадна	55	96	96	ДСТУ 4660:2017

На рис. 3.3 представлена загальна технологічна схема та модель «структура системи» виробництва батончиків желейних з використанням меду та борошна кунжутного

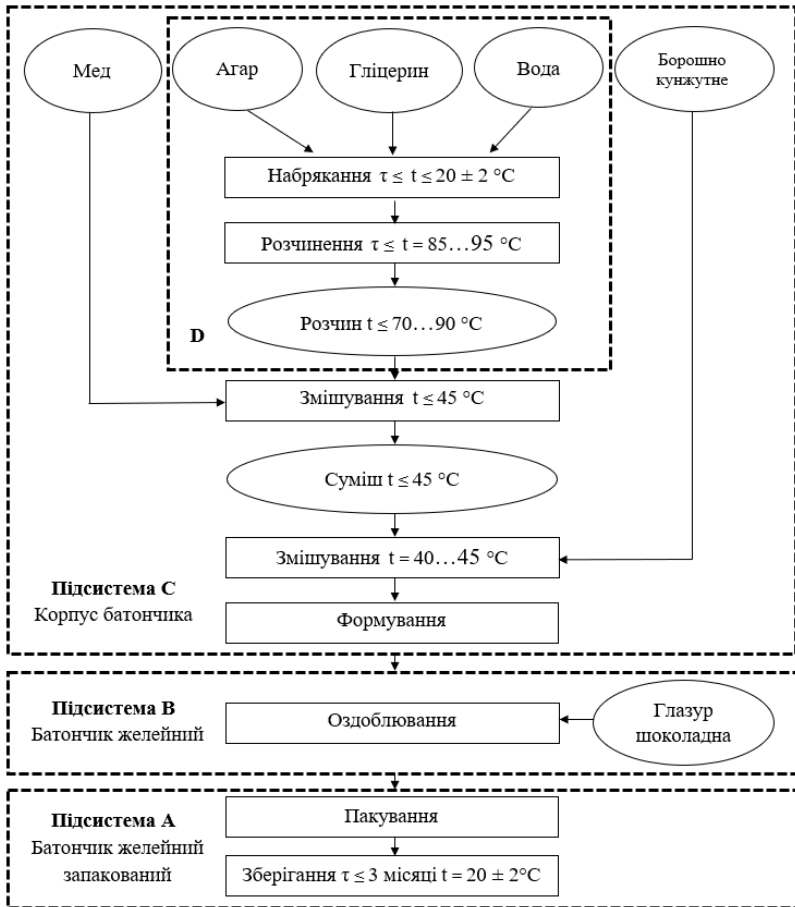


Рис. 3.3 – Технологічна схема та модель «структура системи» виробництва батончиків желейних з використанням меду та борошна кунжутного

Процес приготування починається з підготовки агару. Його замочують у воді для набрякання. Далі додаємо гліцерин, який допомагає покращити текстуру і м'якість продукту. Залишаємо агар набрякати протягом 60...120 хв, щоб він увібрав достатню кількість рідини і став еластичним.

Після набрякання агару переходимо до наступного етапу. Розчиняємо агар при температурі 85...95 °С, де він повністю розчиняється і утворює однорідну суміш. Потім поступово охолоджуємо розчин до температури 40...45 °С та на цьому етапі додаємо мед. Після додавання меду масу ретельно змішують, щоб забезпечити однорідний розподіл інгредієнтів, далі додається кунжутне борошно, яке не тільки прикрашає продукт, але й надає йому додатковий смак та хрусткість.

Змішану однорідну масу, формуємо у вигляді батончика. Для цього масу розливаємо у відповідні форми або формуємо вручну. Після формування батончиків вони покриваються шоколадною глазур'ю, яка додає смакових ноток і забезпечує привабливий зовнішній вигляд продукту.

В таблиці 3.7 наведено опис структури технологічної системи виробництва батончиків желейних з використанням меду та борошна кунжутного

Таблиця 3.7

Структура технологічної системи виробництва батончиків желейних з використанням меду та борошна кунжутного

Найменування підсистеми (етапу)	Операції	Характеристика функціонування підсистем (етапу)
D – структуроутворююча система «агар-вода-гліцерин»	- змішування; - набрякання; - розчинення.	Контроль кількості та якості. Забезпечення набрякання та розчинення.
C - приготування корпусу батончика	- змішування; - охолодження; - формування.	Контроль кількості та якості. Забезпечення охолодження та надання форми батончикам
B – приготування батончика желейного	- оздоблювання.	Контроль кількості та якості. Забезпечення оздоблювання готових батончиків
A – батончик желейний запакований	- пакування; - зберігання.	Забезпечення пакування та зберігання готової продукції

3.6 Сенсорний аналіз органолептичних показників якості нового продукту батончика желейного з використанням меду та борошна кунжутного

Відповідно до оптимізованої рецептури покращених желейних батончиків, в яких використовується мед і кунжутне борошно, було проведено лабораторне виготовлення дослідних зразків. В рамках дослідження було оцінено фізико-хімічні та органолептичні показники якості цих батончиків.

Для проведення органолептичної оцінки дослідних зразків батончиків з використанням меду та кунжутного борошна була утворена дегустаційна комісія. Оцінка здійснювалася згідно вимог, встановлених у ДСТУ 2903:2005. Результати оцінки представлені у таблиці 3.8.

Покращені желейні батончики характеризувалися високими органолептичними показниками, отримали високі бальні оцінки, повністю відповідали стандарту і не поступалися за якістю продукту аналогу.

Таблиця 3.8

Органолептичні показники якості батончиків желейних з використанням меду та борошна кунжутного та продукту аналогу

Найменування продукту	Частка меду та борошна кунжутного, %	Оцінка продукту по п'яти бальній шкалі					Загальна оцінка в балах
		Зовнішній вигляд	Колір	Запах	Консистенція	Смак	
Батончики Fizi (продукт аналог)	-	4	5	5	4	4	22
Батончики желейні з використанням меду та борошна кунжутного	25:30	5	5	5	5	5	25

У рамках даного дослідження було проведено сенсорний аналіз органолептичних показників якості нового продукту - батончика желейного з використанням меду та борошна кунжутного. Сенсорний аналіз включав оцінку зовнішнього вигляду, кольору, запаху, смаку та консистенції. Показники оцінювалися за шкалою від 1 до 5 балів, де 1 відповідає найнижчій якості, а 5 - найвищій якості (рис. 3.4).

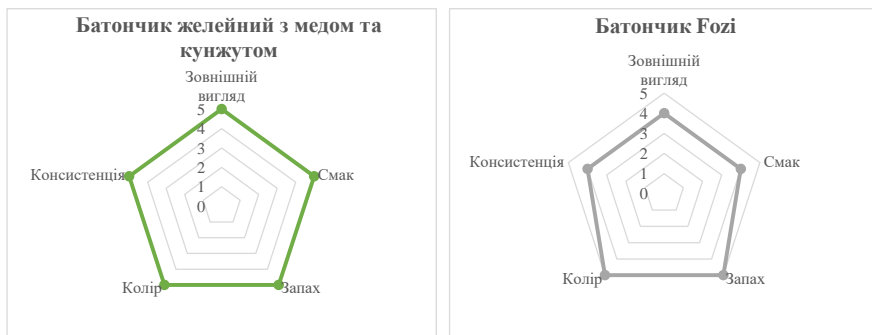


Рис. 3.4 – Органолептична оцінка досліджуваних батончиків

У порівнянні з продуктом аналогом (батончиками Fozi), було спостережено покращення органолептичних характеристик у батончиках желейних з використанням меду та борошна кунжутного.

1) Зовнішній вигляд: батончики желейні з використанням меду та борошна кунжутного отримали оцінку 5, що свідчить про їх привабливий зовнішній вигляд. У порівнянні з батончиками Fozi, які отримали оцінку 4, було виявлено значне покращення поверхні нових розроблених батончиків.

2) Колір: обидва типи батончиків отримали оцінку 5, що свідчить про те, що обидва батончики мали насичений і привабливий колір.

3) Запах та смак: батончики желейні з використанням меду та борошна кунжутного отримали оцінку 5, оскільки мали оптимальну солодкість та аромат меду, який приємно поєднується з неперевершеним смаком кунжуту. Ця унікальна комбінація створює синергію між обома складовими, роблячи смак

батончика насиченим та надзвичайно приємним для задоволення смакових рецепторів. Батончики Fozі отримали нижчу оцінку, оскільки мали надто виражений смак підсолоджувача та ледь помітний смак мигдалю.

4) Консистенція: обидва типи батончиків мали прийнятну консистенцію. Проте батончики з використанням меду та борошна кунжутного виділялися своєю винятковою текстурою, яка поєднує м'якість і пружність, надаючи їм особливу перевагу під час жування. Це досягається завдяки умілому використанню агару, який створює ідеальну желе-подібну текстуру. Також зразок не був надто твердим або липким. Його текстура легко розчиняється в роті, а м'якість і еластичність створюють приємні відчуття при кожному споживанні.

Загалом, на основі проведеного сенсорного аналізу органолептичних показників якості, було встановлено, що запропоновані нами батончики желейні з використанням меду та борошна кунжутного перевершували продукт аналог в більшості оцінюваних аспектів, таких як зовнішній вигляд, смак та консистенція. Вони виявилися привабливими, ароматними, смачними та мали вищу загальну оцінку порівняно з батончиками Fozі.

Таким чином, використання меду та борошна кунжутного у складі желейних батончиків сприяє поліпшенню їх органолептичних характеристик та якості (табл. 3.9).

Таблиця 3.9

Характеристика органолептичних показників батончиків желейних з використанням меду та борошна кунжутного

Назва показника	Характеристика
1	2
Зовнішній вигляд та консистенція	Притаманний батончикам, з рівною поверхнею глазури
Смак та запах	Смак в міру солодкий зі смаком кунжуту. Запах притаманний меду та кунжуту

1	2
Колір	Янтарно-коричневий. Однорідний за всією масою, властивий використаним видам сировини.
Консистенція	Драглеподібна, затяжна консистенція. міру м'яка, еластична

3.7 Розрахунок харчової, біологічної цінності та показників безпеки нової продукції

Аналіз харчової цінності батончиків (табл. 3.10) свідчить про те, що вміст білка в удосконалених нами батончиках практично не поступається контрольному зразку, проте в останніх спостерігається незначне зниження вмісту жирів.

Враховуючи високий вміст білка у розроблених желейних батончиках, було вивчено біологічну цінність збагаченого продукту. До складу рецептури крім основної сировини, входять додаткові джерела білка – мед соняшниковий та борошно кунжутне.

Таблиця 3.10

Харчова цінність досліджених батончиків, г/100 г

Варіант зразку	Вміст основних речовин			Енергетична цінність, ккал
	Білки, %	Жири, %	Вуглеводи, %	
Батончики (контроль)	22,1	23,6	51,6	542,0
Батончики желейні з використанням меду та борошна кунжутного	16,2	24,4	47,0	480,0

Відповідно до рекомендацій при збагаченні кондитерських виробів необхідно приділяти увагу збільшення вмісту вітамінів. Рівень досягнутого комплексного збагачення батончиків желейних представлено таблиці 3.11.

Таблиця 3.11

Визначення вмісту вітамінів, мг/кг на 100 г

Показник	Батончики (контроль), мг/100 г	Батончики желейні з використанням меду та борошна кунжутного, мг/100 г
Вітамін В1	0,28	0,32
Вітамін В2	0,26	0,24
Вітамін В3	1,8	2,4
Вітамін С	0,12	0,18
Вітамін Е	0,37	0,35
Вітамін РР	3,46	3,81

В удосконалених батончиках желейних з використанням меду та борошна кунжутного використовуються сировинні компоненти, які відрізняються не лише своїм смаком і текстурою, але й високим потенціалом біологічно активних речовин, включаючи вітаміни. Тому можна вважати, що удосконалені желейні батончики без додавання цукру містять функціональні інгредієнти.

Важливими основоположними показниками якості термостабільних начинок начинки, за якими визначають їх придатність до споживання, є фізико-хімічні та мікробіологічні показники. Отримані батончики досліджувалися за такими основними фізико-хімічними показниками як масова частка вологи, масова частка сухих речовин, кислотність та масова частка глазурі (табл. 3.12).

Таблиця 3.12

Фізико-хімічні показники різних видів батончиків

Найменування показників	Батончик желейний з використанням меду та борошна кунжутного	Контроль ий зразок	Метод визначення
	Показники		
1	2	3	4
Масова частка вологи, %	16,0	14,0	ДСТУ 4910:2008

Закінчення табл. 3.12

1	2	3	4
Масова частка сухих речовин, %	75	73	ДСТУ 4910:2008
Загальна кислотність для батончиків желейних, град	8,4	9.1	ДСТУ 5024:2008
Масова частка глазури для батончика з глазурю %	11,0	13,0	ДСТУ 5076:2008

Батончик желейний з використанням меду та борошна кунжутного має вищу масову частку вологи (16,0% проти 14,0% у контрольному зразку), що може вплинути на його тривалість зберігання та спричинити швидше псування продукту. Однак цей показник повністю відповідає нормам державного стандарту. Для забезпечення оптимальної якості і тривалості зберігання батончика, важливо зберігати його у правильних умовах, наприклад, в сухому та прохолодному місці.

Вища масова частка сухих речовин у батончику желейному з використанням меду та борошна кунжутного (75%) може сприяти підвищеній стійкості продукту до псування, а нижча кислотність може забезпечити більш стабільну якість протягом зберігання. Більша концентрація сухих речовин може допомогти зберегти текстуру і смак продукту протягом тривалого періоду зберігання.

Усі згадані показники відповідають нормам і не вказують на якісні проблеми з продуктом. Однак, враховуючи відмінності у складі та фізико-хімічних властивостях, можна очікувати нюанси у смаковому профілі, текстурі та тривалості зберігання між двома батончиками. Ретельне зберігання у відповідних умовах є ключовим для збереження якості продукту протягом його терміну придатності.

Нижче представлений вміст токсичних елементів та мікотоксинів у готових виробах (табл. 3.13). Усі значення вказані в таблиці відповідають

нормативам та максимально допустимим рівням для цих речовин. Це свідчить про те, що батончик відповідає встановленим стандартам безпеки і якості.

Вміст токсичних елементів у батончиках желейних з використанням меду та борошна кунжутного

Назва показника	Одиниця вимірювання	Значення
Токсичні елементи:		
свинець	мг/кг	1,0
кадмій	мг/кг	0,1
мідь	мг/кг	5,00
цинк	мг/кг	10,00
миш'як	мг/кг	0,2
ртуть	мг/кг	0,01
Мікотоксини: патулін	Максимальний рівень мкг/кг	5,0
Радіонукліди:		
цезій -137	Бк/кг	40
стронцій-90	Бк/кг	5

Мікроорганізми, що наявні у сировині, з якої виготовляється кунжутне борошно, можуть засідати мікрофлору цього борошна. У процесі виробництва батончиків кількість і склад мікроорганізмів можуть змінюватися. Це важливо контролювати, оскільки мікроорганізми можуть впливати на якість продукту, спричиняючи небажані зміни.

В рамках нашого дослідження ми провели мікробіологічний аналіз батончика желейного з використанням меду та борошна кунжутного з метою оцінки його безпеки та якості. Результати мікробіологічного аналізу готового виробу були документовані і представлені у таблиці 3.14, яка містить відомості про наявність та кількість мікроорганізмів.

Таблиця 3.14

Мікробіологічні показники досліджуваних батончиків

Найменування показників	Допустимий рівень, не більше ніж	Метод контролювання
Загальна кількість бактерій	10^4	ДСТУ 7444:2013
Кількість патогенних бактерій (Salmonella, Listeria monocytogenes, Staphylococcus aureus) в 25 г	Не знайдено	ДСТУ 8446:2015
Плісневі гриби, КУО в 1 г, не більше ніж	10^2	ДСТУ 8447:2015
Дріжджі, КУО в 1 г, не більше ніж	10^2	ДСТУ 8447:2015
Загальна кількість молочнокислих бактерій, КУО в 1 г, не більше ніж	10^7	ДСТУ 7999:2015

3.8 Визначення показників якості нового продукту та зміну їх властивостей під час зберігання

Один з аспектів, який потрібно враховувати, це зміна властивостей продукту під час зберігання. Під час тривалого зберігання батончика можуть відбуватися різні фізико-хімічні процеси, які можуть впливати на якість та стан продукту.

Один з таких показників – загальна кислотність, яка визначається концентрацією кислотних сполук у продукті. Зміна загальної кислотності може свідчити про процеси ферментації або окислення, які можуть впливати на смак, аромат та стійкість продукту. Контроль цього показника дозволяє забезпечити стабільність якості продукту протягом його зберігання.

На рис. 3.5 представлена динаміка зміни кислотності досліджуваних батончиків за умов зберігання в упаковці при температурі 20 °С.

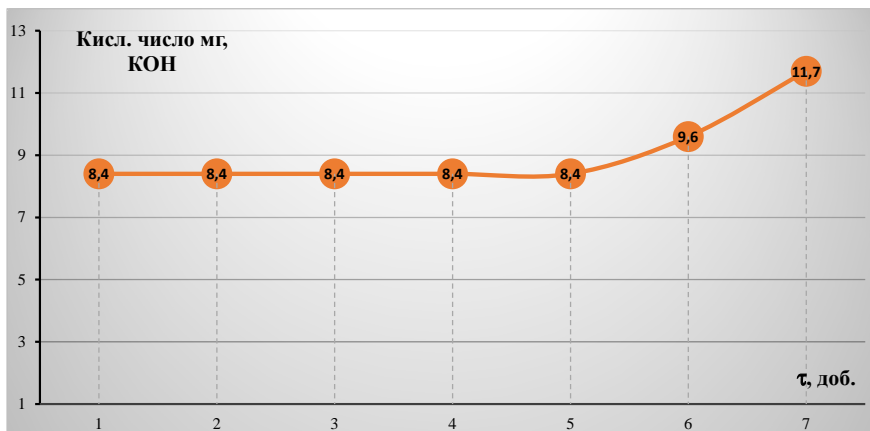


Рис. 3.5 – Динаміка зміни кислотності при зберіганні удосконалених батончиків

Аналізуючи зміни в кислотності під час 7-місячного зберігання удосконалених батончиків желейних з використанням меду та борошна кунжутного, було встановлено, що окисні процеси залишалися стабільними протягом перших 5 місяців. Проте після 6 місяців зберігання відбулося незначне збільшення кислотності, а після 7 місяців спостерігалось значне підвищення до 11,7 град.

Дослідження термінів придатності, що встановлює виробник для батончиків, враховуючи види основної сировини та склад рецептури, показало, що тривалість придатності коливається від 3 до 5 місяців. У випадку удосконалених батончиків, що містять підвищений вміст жиру та значну кількість антиоксидантів, які розчиняються у воді та жирі, було запропоновано придатність упакованих батончиків желейних з медом та кунжутним борошном від 3 до 6 місяців за умови зберігання при температурі 20 °C та відносній вологості повітря на рівні 60 %.

Отже, було проведено:

– аналіз властивостей меду соняшникового та борошна кунжутного з метою вивчення їх впливу на характеристики готового продукту. В результаті дослідження було встановлено, що ці інгредієнти сприяють створенню більш збалансованого складу батончика, надають йому природну солодкість, насичений аромат та значну кількість корисних поживних речовин. Завдяки цим властивостям, батончики желейні з медом та кунжутним борошном можуть бути привабливим вибором для тих, хто бажає поєднати задоволення від смаку з користю для здоров'я;

– описано особливості технологічного процесу виробництва батончиків желейних з використанням меду та борошна кунжутного;

– здійснено аналіз процесу структуроутворення желейної маси на основі агару з додаванням гліцерину. Виявлено, що додавання гліцерину до рецептури желейних батончиків прискорює утворення драгледоподібної структури, оскільки гліцерин має високу здатність до поглинання вологи. Це призводить до збільшення ступеня дегідратації, так як вода поглинається з сольватних оболонок молекул агару, що сприяє швидшому формуванню студнів. Досліджено, що оптимальна кількість гліцерину для досягнення задовільної пластичної міцності складає 0,3 %;

– визначено раціональне дозування меду та борошна кунжутного у технології нового продукту. Встановлено, що зразок з дозуванням меду та борошна кунжутного у співвідношенні 25:35% є найкращим варіантом для виробництва желейних батончиків. Цей зразок має збалансований смак, приємну текстур, а використання меду та борошна кунжутного в рецептурі додає природні складники з високою харчовою цінністю, підкреслюючи благотворні аспекти цих продуктів для здорового харчування;

– розроблено рецептурний склад та технологічну схему виготовлення батончиків з використанням меду та борошна кунжутного;

– проведено сенсорний аналіз органолептичних показників якості

нового продукту батончика желейного з використанням меду та борошна кунжутного. За результатами проведеного аналізу було встановлено, що батончики, які ми запропонували, мали високі органолептичні характеристики. Вони були привабливими, ароматними та смачними, що підтверджується високими загальними оцінками;

– проведено розрахунок харчової, біологічної цінності та показників безпечності нового батончика желейного, визначено показники якості нового продукту та зміну їх властивостей під час зберігання.

Одержані результати дозволяють зробити висновок, що отримані удосконалені желейні батончики з використанням меду та борошна кунжутного характеризуються високими показниками якості, а також високою біологічною та харчовою цінністю та можуть бути рекомендовані для здорового широкими верствами населення.

РОЗДІЛ 4 РЕГРЕСІЙНИЙ АНАЛІЗ І ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЦЕПТУРНОГО СКЛАДУ БАТОНЧИКІВ ЖЕЛЕЙНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕДУ ТА БОРОШНА КУНЖУТНОГО

Зазвичай, харчове виробництво складається з трьох основних етапів: підготовка сировини, безпосереднє перетворення та отримання готових продуктів. Ці етапи утворюють складну харчово-технологічну систему (ХТС). Сучасні великомасштабні харчові підприємства складаються з багатьох взаємопов'язаних підсистем, що мають ієрархічну структуру з трьома рівнями взаємозв'язків.

Харчово-технологічна система охоплює всі фізико-хімічні процеси і засоби, які використовуються для їх реалізації. Вона включає рецептурний склад, сам процес, параметри технологічних процесів і обладнання, на якому вони здійснюються, а також засоби контролю та управління процесами і зв'язками між ними.

Система взаємодіє з зовнішнім середовищем і може бути кількісно оцінена сукупністю вхідних змінних X і вихідних змінних Y (рис. 4.1).

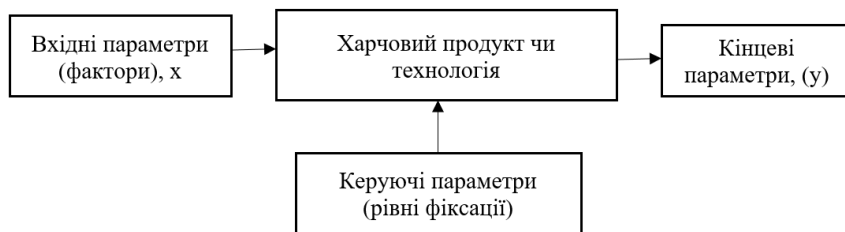


Рис. 4.1 – Найпростіша структура системи

Можна розглядати різні фактори як вхідні змінні у системі, такі як обсяг перероблюваної сировини, її склад, температура тощо. Серед вихідних результатів можуть бути кількість готового продукту, його концентрація, реологічні параметри, термін придатності, температура та інші характеристики. Для досягнення бажаних значень вихідних змінних використовуються керуючі

змінні. Таким чином, ХТС представляє собою складний об'єкт, який можна розбити на складові підсистеми або елементи шляхом декомпозиції. Ці підсистеми взаємопов'язані інформаційно між собою та, можливо, з навколишнім середовищем системи.

Часто застосовується емпіричний підхід при визначенні кількості інгредієнтів та параметрів технологічних операцій. Такий підхід не використовує всі можливості сучасних технологічних систем і знижує конкурентоспроможність харчової продукції.

Науково обґрунтований підхід до проектування технологічних систем виробництва харчових продуктів вимагає активного використання математичних моделей для аналізу технологічних процесів і знаходження оптимальних рішень, що сприяють раціоналізації технологічного циклу виробництва харчових продуктів.

Завдання експериментально-статистичного моделювання, так само як будь-які наукові і технологічні задачі, вирішуються шляхом послідовного виконання кроків, що дозволяють пройти від постановки задачі до отримання розв'язків. Ці етапи є необхідними при розв'язанні будь-якої практичної задачі, використовуючи вказані методи.

Етап 1 – Визначення мети та завдань дослідження. На цьому етапі прямо встановлюються цілі та завдання, які потрібно вирішити під час проведення дослідження. Наприклад, це може бути задача оптимізації об'єкта дослідження. Також визначаються обсяги та джерела фінансування досліджень, а також засоби, необхідні для їх проведення.

Етап 2 – Виділення функцій відгуку. На цьому етапі проводиться аналіз всіх впливових змінних об'єкта, і вибираються ті змінні, які будуть використовуватися як функції відгуку в дослідженні. Функції відгуку можуть бути однією або декількома впливовими змінними. Зрозуміло, що ці змінні повинні відповідати меті та завданням дослідження, а також заданим критеріям

для функцій відгуку. Крім того, на цьому етапі вибирають або встановлюють шкалу числових оцінок для функцій відгуку, обирають метод та визначають похибку вимірювання необхідних впливових величин та реєстрацію результатів цих вимірювань.

Етап 3 – Виділення впливових факторів. Фактори, які будуть змінюватися у дослідженні, вибираються таким чином, щоб вони мали значний вплив на всі або більшість функцій відгуку. Крім того, ці фактори повинні відповідати вимогам, що ставляться до них. Якщо необхідно, може бути проведений аналіз результатів попередніх досліджень або здійснено невелику кількість експериментів для перевірки значущості впливу різних факторів. Вибір кількості факторів потребує великої відповідальності. Залучення зайвих факторів у дослідження може призвести до значного збільшення обсягу експериментів. У той же час, пропуск значущих факторів може призвести до отримання неповних та неточних результатів, що поставить під сумнів дослідження в цілому. Також на цьому етапі встановлюються діапазони значень факторів, вибираються їх основні рівні та інтервали варіації.

Етап 4 – Вибір типу експериментально-статистичної моделі та планування експерименту. На цьому етапі, враховуючи поставлену задачу та попередні дані про функції відгуку, вибирається тип майбутньої експериментально-статистичної моделі (наприклад, нелінійне програмування або багатофакторний експеримент). З урахуванням кількості обраних факторів визначається загальний вид моделі. На основі обраної моделі створюється план експерименту, встановлюється кількість окремих експериментів та умови їх проведення. Також на цьому етапі визначається кількість дослідів, які необхідно провести за однакових рівнів факторів – так званих паралельних дослідів.

Етап 5 – Здійснення плану експерименту. На цьому етапі проводиться пряме здійснення експериментальних досліджень. Очевидно, що дослідження

проводяться у відповідності до планувальних умов. З точки зору статистики, під час реалізації експериментів важливо дотримуватись принципу рандомізації. Цей принцип передбачає, що окремі експерименти повинні проводитись не послідовно відповідно до плану, а у випадковому порядку. Особливо це стосується паралельних дослідів.

Етап 6 – Регресійний аналіз. Цей етап часто називають математичною обробкою результатів експерименту. Регресійний аналіз включає вирішення наступних завдань: оцінка повторюваності дослідів та виявлення значних помилок при їх проведенні, розрахунок числових оцінок коефіцієнтів експериментально-статистичної моделі, оцінка значущості окремих складових частин моделі – регресорів та оцінка адекватності отриманої моделі об'єкта дослідження.

Етап 7 – Пряме досягнення мети дослідження та вирішення поставлених задач з першого етапу на основі розроблених експериментально-статистичних моделей.

Метою дослідження є оптимізація рецептурного складу батончиків желейних з використанням меду та борошна кунжутного за вмістом білків, жирів та вуглеводів при одному з максимальних значень органолептики.

Для досягнення заданої цілі були виконані такі завдання:

1) Розробка ортогонального центрально-композиційного плану для чотирьох (n) факторів оптимізації рецептури батончиків желейних з використанням меду та кунжутного борошна. Фактори були фіксовані на п'яти рівнях з урахуванням мінімальних і максимальних значень рецептурних інгредієнтів при незмінних основних характеристиках страви.

2) Оцінка органолептичних властивостей кожної рецептурної композиції, визначеної під час експерименту.

3) Подання отриманих результатів у формі 3D-моделі для визначення найкращої рецептурної композиції.

4) Визначення співвідношення білків, жирів та вуглеводів у страві, яке наближене до оптимального співвідношення в раціоні дорослої середньостатистичної людини. Це було здійснено шляхом інтерпретації отриманих математичних даних за допомогою експериментальної мови, з урахуванням органолептичних показників.

5) Визначення вмісту мінеральних речовин у страві з урахуванням кількісних показників оптимальної рецептурної композиції рецептурних інгредієнтів.

Для оцінки органолептичної якості готового продукту використовувалися аналітичні методи, зокрема якісний аналіз та метод профільного аналізу. Використання профільного методу полягало у представленні складного поняття органолептичного показника (такого як консистенція, смак або запах, колір) як сукупності складових (дескрипторів), які експертами оцінювалися за показниками якості, інтенсивності та послідовності прояву.

Для оптимізації була сформована функція відгуку у формі повного квадратного поліному другого порядку для $n=4$, який представлений в формулі 1. Для визначення коефіцієнтів поліному був використаний ортогональний центрально-композиційний план другого порядку (ОЦКП).

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 + b_{23}x_2x_3 + b_{24}x_2x_4 + b_{34}x_3x_4 + b_{123}x_1x_2x_3 + b_{124}x_1x_2x_4 + b_{234}x_2x_3x_4 + b_{1234}x_1x_2x_3x_4 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 + b_{44}x_4^2 \quad (5.1)$$

Ортогональний центрально-композиційний план (ОЦКП) є планом, у якому матриця планування X формується таким чином, що матриця $S = XtX$ стає діагональною. Цей підхід застосовується для побудови планів другого порядку. Якщо всі точки плану розташовані симетрично щодо центру плану, то такий план називається центральним. ОЦКП є центральним симетричним прямокутним композиційним планом. Для визначення ОЦКП, який може бути використаний у дослідженнях, застосовуються три загальновідомі критерії:

t-критерій Ст'юдента/Ст'юдента – це загальна назва для класу методів

статистичної перевірки гіпотез (статистичних критеріїв), які ґрунтуються на порівнянні з розподілом Стьюдента. Найчастіше використовується для перевірки рівності середніх значень у двох вибірках.

Критерій Кохрена – використовується для порівняння трьох або більше вибірок однакового обсягу.

F-тест або критерій Фішера – це будь-який статистичний критерій, тестова статистика якого має розподіл Фішера (F-розподіл), коли нульова гіпотеза виконується.

Основна частина. Одним з параметрів оптимізації є досягнення оптимального співвідношення між білками, жирами та вуглеводами у рецептурі, за умови забезпечення високої органолептичної якості. Згідно з раціональними нормами щоденного споживання основних поживних речовин, оптимальне співвідношення для дорослої людини складається у відношенні 1:1:4 для білків, жирів та вуглеводів відповідно. В ортогональному центральном-композиційному плані (ОЦКП) кожен фактор фіксується на п'яти рівнях, враховуючи максимальну та мінімальну кількість інгредієнтів, при цьому основні характеристики страви залишаються незмінними, як показано в таблиці 5.1. План експерименту, результати безпосередніх вимірювань та їх початковий аналіз представлені відповідно в таблицях 4.2 та 4.3.

Таблиця 4.1

Рецептурні компоненти та рівні фіксації факторів, що впливають на оптимізацію рецептури батончиків желейних з використанням меду та борошна кунжутного

Фактори, що впливають на оптимізацію (компоненти рецептури)		Рівні фіксації факторів та їх натуральні величини, г					Вміст на 100г продукту, г		
		-1,414	-1	0	1	1,414	Білки	Жири	Вуглеводи
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
x1	Агар	0,12	0,3	0,5	0,7	0,88	4	0	76

Закінчення табл. 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
x2	Мед	4,8	7	12	17	19,2	0,8	0	74	
x3	Кунжутне борошно	7,8	10	15	20	22,2	38,8	9,2	32	
x4	Гліцерин	0,04	0,1	0,2	0,3	0,36	0	0	0	
Компоненти рецептури, що не є факторами в математичній моделі		Вміст в 1 порції нетто, г					Білки	Жири	Вуглеводи	
Вода		17					0	0	0	
Глазур шоколадна		4,8					4	30	55	

Таблиця 4.2

Ортогональний центрально-композиційний план для чотирьох (n) факторів оптимізації рецептури батончиків желеїних з використанням меду та борошна кунжутного (матриця планування)

№	x ₀	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₁ ² - 0,8	x ₂ ² - 0,8	x ₃ ² - 0,8	x ₄ ² - 0,8
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1	1	1	1	0,20	0,20	0,20	0,20
2	1	-1	1	1	-1	0,20	0,20	0,20	0,20
3	1	1	-1	1	-1	0,20	0,20	0,20	0,20
4	1	-1	-1	1	1	0,20	0,20	0,20	0,20
5	1	1	1	-1	-1	0,20	0,20	0,20	0,20
6	1	-1	1	-1	1	0,20	0,20	0,20	0,20
7	1	1	-1	-1	1	0,20	0,20	0,20	0,20
8	1	-1	-1	-1	-1	0,20	0,20	0,20	0,20
9	1	1	-1	1	1	0,20	0,20	0,20	0,20
10	1	-1	-1	1	-1	0,20	0,20	0,20	0,20
11	1	1	1	1	-1	0,20	0,20	0,20	0,20
12	1	-1	1	1	1	0,20	0,20	0,20	0,20
13	1	1	-1	-1	-1	0,20	0,20	0,20	0,20
14	1	-1	-1	-1	1	0,20	0,20	0,20	0,20
15	1	1	1	-1	1	0,20	0,20	0,20	0,20
16	1	-1	1	-1	-1	0,20	0,20	0,20	0,20
17	1	-1,414	0	0	0	-0,80	-0,80	-0,80	1,20

Закінчення табл. 4.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
18	1	1,414	0	0	0	-0,80	-0,80	-0,80	1,20
19	1	0	-1,414	0	0	-0,80	-0,80	1,20	-0,80
20	1	0	1,414	0	0	-0,80	-0,80	1,20	-0,80
21	1	0	0	-1,414	0	1,20	-0,80	-0,80	-0,80
22	1	0	0	1,414	0	1,20	-0,80	-0,80	-0,80
23	1	0	0	0	-1,414	-0,80	1,20	-0,80	-0,80
24	1	0	0	0	1,414	-0,80	1,20	-0,80	-0,80
25	1	0	0	0	0	-0,80	-0,80	-0,80	-0,80

Таблиця 4.3

Результати безпосередніх вимірювань

№	y_1	y_2	y_3	y_4	\bar{y}_j	s_j^2	\hat{y}	\bar{y}	$s_{ад}^2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	7,9	1,8	22,2	12,41	11,1	73,23	11,1	11,6	0,258
2	7,9	1,8	21,8	10,56	10,5	70,16	10,5	10,6	0,004
3	7,8	1,8	14,8	13,71	9,5	35,57	9,5	9,3	0,035
4	7,8	1,8	14,4	11,67	8,9	29,81	8,9	8,4	0,328
5	4,0	0,9	19,0	14,16	9,5	71,48	9,5	10,1	0,318
6	4,0	0,9	18,6	11,02	8,7	62,23	8,7	8,8	0,032
7	4,0	0,9	11,6	12,75	7,3	33,21	7,3	7,2	0,006
8	3,9	0,9	11,2	13,26	7,3	34,35	7,3	6,8	0,268
9	7,8	1,8	14,8	11,64	9,0	30,89	9,0	9,1	0,007
10	7,8	1,8	14,4	10,20	8,6	27,68	8,6	8,2	0,130
11	7,9	1,8	22,2	14,22	11,5	75,65	11,5	11,8	0,057
12	7,9	1,8	21,8	11,61	10,8	70,45	10,8	10,7	0,021
13	4,0	0,9	11,6	12,53	7,2	32,42	7,2	7,4	0,019
14	3,9	0,9	11,2	12,26	7,1	30,65	7,1	6,8	0,062
15	4,0	0,9	19,0	14,01	9,5	71,02	9,5	9,8	0,123

Закінчення табл. 4.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
16	4,0	0,9	18,6	11,26	8,7	62,62	8,7	8,6	0,008
17	5,7	1,4	11,3	10,25	7,2	20,86	7,2	8,3	1,404
18	6,2	1,4	22,1	13,49	10,8	81,35	10,8	9,6	1,334
19	5,8	1,4	6,2	12,34	6,4	20,28	6,4	7,7	1,493
20	6,0	1,4	27,2	14,05	12,2	127,41	12,2	11,0	1,421
21	3,2	0,7	14,4	14,25	8,2	52,13	8,2	7,9	0,049
22	8,7	2,0	19,0	10,96	10,2	48,80	10,2	10,4	0,063
23	5,9	1,4	16,7	11,83	9,0	44,92	9,0	9,1	0,009
24	5,9	1,4	16,7	12,18	9,0	45,62	9,0	9,0	0,004
25	5,9	1,4	16,7	12,84	9,2	47,10	9,2	9,2	0,002

Внаслідок проведених досліджень було визначено коефіцієнти регресійного рівняння. Здійснений статистичний аналіз моделі в цілому, а також окремо аналізувалися коефіцієнти моделі. Отримані результати представлені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4

Результати статистичного аналізу експерименту

	x0	x1	x2	x3	x4	$x_1^2 - 0,8$	$x_2^2 - 0,8$	$x_3^2 - 0,8$	$x_4^2 - 0,8$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\sum x_i * y_i$	227,5	9,2	23,3	17,5	-0,5	0,0	-0,6	0,6	-0,7
$\sum x_i^2$	25	20,0	20,0	20,0	20,0	8,0	8,0	8,0	8,0
b _i	9,10	0,46	1,17	0,88	-0,03	0,00	-0,07	0,08	-0,09
S ² {b _i }	8,13	0,87	0,87	0,87	0,87	2,17	2,17	2,17	2,17
S{b _i }	2,85	0,93	0,93	0,93	0,93	1,47	1,47	1,47	1,47
t _i	3,19	0,49	1,25	0,94	0,03	0,00	0,05	0,05	0,06
t _i -t _{кр}	1,13	-1,57	-0,81	-1,12	-2,03	-2,06	-2,01	-2,01	-2,00

Закінчення табл. 4.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
	x1x2	x1x3	x1x4	x2x3	x2x4	x3x4	x1x2 x3	x1x2 x4	x2x3 x4	x1x2x 3x4	
$\sum xi^*$ уср	1,8	0,6	-1,3	0,5	0,1	0,0	-1,3	-0,1	-0,1	0,5	
$\sum xi^2$	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	
bi	0,11	0,04	-0,08	0,03	0,00	0,00	-0,08	-0,01	-0,01	0,03	
S2{b i}	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	
S{bi}	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	
ti	0,11	0,03	0,08	0,03	0,00	0,00	0,08	0,01	0,01	0,03	
ti- tkp	-1,95	-2,03	-1,98	-2,03	-2,06	-2,06	-1,98	-2,05	-2,05	-2,03	
$\sum Sj^2$	1299,90			$\sum Sa_d$			7,455		Sy2	52,00	
Sj2max	127,41			Sa_d^2			0,3728				
G	0,10			F			0,007169		α	0,05	
m-1	3,00			k1			4				
N	25,00			k2			20		f1	24,00	
Gкр	0,19			Fкр(табл.)			2,87				
G- Gкр=	- 0,09			F-Fкр=			- 2,862830779		tT	2,06	
(G<Gкр) дисперсія однорідна				F<Fкр статистична модель значима, рівняння регресії надійне							

Після побудови ОЦКП та виконання необхідних обчислень, а також визначення рівняння регресії, надійне проведення полягає у заміні коефіцієнтів у формулі 4.1 на значення, отримані в ході досліджень. Це дозволяє встановити взаємозв'язок між рецептурними компонентами та їх впливом на показники оптимізації. В результаті отримана регресійна модель у кодованих одиницях має такий вигляд:

$$Y=9,10+0,46x_1+1,17x_2+0,88x_3-0,03x_4+0,11x_1x_2+0,04x_1x_3-0,08x_1x_4+0,03x_2x_3-$$

$$0,08x_1x_2x_3-0,01x_1x_2x_4-0,01x_2x_3x_4+0,03x_1x_2x_3x_4-0,07x_2^2+0,08x_3^2-0,09x_4^2 \quad (4.2)$$

Для визначення оптимальної рецептурної композиції згідно з встановленими параметрами, була створена 3D модель методом згладжування найменших квадратів за допомогою програмного пакету для статистичного аналізу Statistica, яка зображена на рисунку 4.2. Після аналізу графічних даних, результатів безпосередніх вимірювань та рівняння регресії, було визначено зразок № 20 оптимальної рецептурної композиції (таблиці 4.1, 4.2, 4.3).

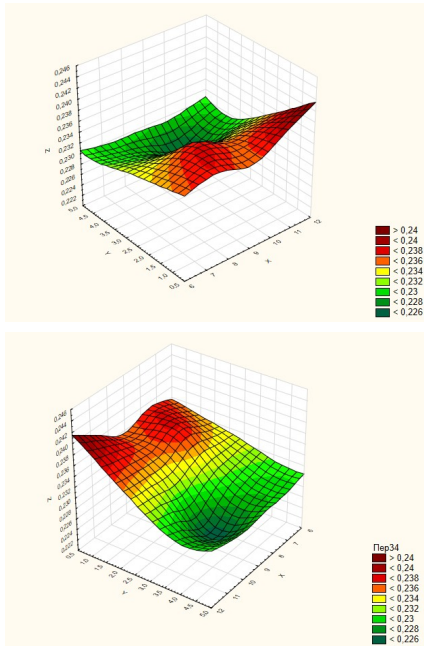


Рис. 4.2 – 3D модель оптимізації рецептурної композиції батончиків желейних з використанням меду та борошна кунжутного

Відповідно до проведених досліджень та відображення в 3D моделі,

показники досліду № 20 вказують на оптимальну рецептурну композицію. Кількість мінеральних речовин при цій оптимальній рецептурній композиції наведена в табл. 4.5, яка була встановлена в результаті досліджень.

Кількість мінеральних речовин при оптимальній рецептурній композиції

Рецептурні інгредієнти	Маса нетто, г	Мінеральний склад, мг				
		Са мг/маси інгр.	Р мг/мас и інгр.	Mg мг/мас и інгр.	Fe мг/мас и інгр.	I ₂ мг/мас и інгр.
Агар	0,5	0	0	0	0	0
Мед	12,5	1,75	2,3	0,38	0,1	0,25
Кунжутне борошно	15	22,35	113,6	50,7	2,13	0
Гліцерин	0,2	0	0	0	0	0
Вода	17	0,8	0	0,2	0	0
Глазур шоколадна	14,8	4,29	19,2	15,24	0,8	0

Інтерпретація моделі відбувається, коли модель перетворюється на мову експериментатора. Вплив фактору на параметр оптимізації визначається значенням коефіцієнта регресії. Якщо Y прагне до максимуму, то збільшення коефіцієнтів зі знаком «+» сприяє поліпшенню параметра оптимізації. Фактори, коефіцієнти яких є незначними з точки зору експериментатора з досвідом у даній сфері, не інтерпретуються і не мають суттєвого впливу на параметр оптимізації.

У дослідженнях взаємодія двох або більше факторів є найважливішою для функції відгуку. Згідно з рівнянням регресії, найбільший вплив на параметр оптимізації має взаємодія між факторами x_1 та x_2 , оскільки цей взаємозв'язок має найбільший коефіцієнт. Цей висновок підтверджується рівнянням регресії та обґрунтовується тим, що збільшення параметра оптимізації y_1 (білок) відбувається переважно за рахунок збільшення факторів x_1 та x_2 , а збільшення параметра оптимізації y_3 (вуглевод) залежить від збільшення фактору x_1 . Збільшення параметра оптимізації y_2 (жир) забезпечується факторами x_3 та x_4 , які містять значну кількість жиру, але майже не впливають на оптимізацію вмісту білка та вуглеводів, тому їх вплив на загальний параметр оптимізації є

незначним, що підтверджується незначною величиною коефіцієнтів у рівнянні регресії.

Якщо фактори, які не мають значного впливу на параметр оптимізації, присутні у парному, трьох або чотирьох факторних взаємозв'язках, то ці взаємозв'язки зводяться до менш значущого рівня. Тому в рецептурі страви найважливішими є вміст рису та прісноводних молюсків, оскільки вони мають найбільший вплив на оптимізацію рецептурної композиції. Інтерпретація надійного рівняння регресії, яке має однорідну дисперсію та статистичну значимість, є основним методом для прийняття вірних рішень щодо оптимізації.

Тому після аналізу графічних даних, результатів вимірювань та інтерпретації рівняння регресії було визначено зразок № 20, який має найближче до оптимального співвідношення білків, жирів та вуглеводів з органолептичною оцінкою 14,05. Важливою умовою при дослідженні рецептурної композиції є той факт, що при досягненні високих значень органолептики або співвідношення поживних речовин інші показники можуть мати незадовільні значення. Тому необхідно вибирати композицію з максимальним балансом факторів, навіть якщо це означає зниження деяких показників, і на це треба зосереджувати особливу увагу під час досліджень та інтерпретації результатів.

Під час проведених досліджень було досягнуто поставленої мети - було оптимізовано рецептурний склад батончиків желейних з використанням меду та борошна кунжутного і вирішено такі завдання:

- 1) Було розроблено ортогональний центрально-композиційний план з чотирма факторами оптимізації рецептури батончиків желейних з використанням меду та борошна кунжутного. Була підтверджена однорідність дисперсії за допомогою G-критерію (Кохрена) при рівні значущості 0,05, значимість статистичної моделі та надійність рівняння регресії за допомогою F-

критерію Фішера.

2) Була проведена органолептична оцінка кожної рецептурної композиції, визначеної в ході експерименту, застосовуючи якісні та метод профільного аналізу.

3) Для визначення оптимальної рецептурної композиції було побудовано 3D модель за допомогою методу згладжування найменших квадратів.

4) Після аналізу графічних даних, результатів вимірювань та інтерпретації рівняння регресії було визначено оптимальну рецептурну композицію, яка відповідає співвідношенню білків, жирів та вуглеводів і має органолептичну оцінку 14,05.

5) За допомогою рецептурної композиції № 20 було визначено вміст мінеральних речовин, таких як Ca, P, Mg, Fe, I2, в одній порції.

ВИСНОВКИ

У монографії наведено теоретичні передумови, науково обґрунтовано та експериментально підтверджено технологічні принципи створення батончика желейного на основі агару як структуроутворюючого компонента з використанням меду соняшникового в якості підсолоджувача з додаванням нетрадиційної сировини - борошна кунжутного як компонента, що забезпечує бажану харчову та біологічну цінність нового продукту.

Аналіз сучасних технологій та перспектив розвитку виробництва батончиків, підтвердив важливість дослідження полісахаридів як потенційних структуроутворювачів у технології виготовлення батончиків. Аналіз функціонально-технологічних властивостей агару в композиції з гліцерином виявив потенціал цього поєднання для створення структурних компонентів батончиків.

Проведено наукове обґрунтування впливу гліцерину на міцність гелеподібних систем на основі агару, фурцелларану, каппа-карагенану та желатину. Проведено дослідження впливу концентрацій рецептурних компонентів та температури на в'язкість модельних систем, зокрема: «агар-вода», «агар-вода-гліцерин», «агар-вода-гліцерин-мед», та «агар-вода-гліцерин-мед-кунжутне борошно». Досліджено ІЧ спектри компонентів батончика желейного з використанням меду та порошку кунжутного.

Проведено аналіз властивостей меду соняшникового та борошна кунжутного з метою вивчення їх впливу на характеристики готового продукту. В результаті дослідження було встановлено, що ці інгредієнти сприяють створенню більш збалансованого складу батончика, надають йому природну солодкість, насичений аромат та значну кількість корисних поживних речовин.

Здійснено аналіз процесу структуроутворення желейної маси на основі агару з додаванням гліцерину. Визначено раціональне дозування меду та борошна кунжутного у технології нового продукту. Встановлено, що зразок з

дозуванням меду та борошна кунжутного у співвідношенні 25:35% є найкращим варіантом для виробництва желейних батончиків. Розроблено рецептурний склад та технологічну схему виготовлення батончиків з використанням меду та борошна кунжутного.

Проведено сенсорний аналіз органолептичних показників якості нового продукту батончика желейного з використанням меду та борошна кунжутного, а також розрахунок харчової, біологічної цінності та показників безпеки нового батончика желейного, визначено показники якості нового продукту та зміну їх властивостей під час зберігання.

Було оптимізовано рецептурний склад батончиків желейних з використанням меду та борошна кунжутного.

ПЕРЕЛІК ДжЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Краєвська С. П. Основні підходи до створення батончиків спеціалізованого призначення / С. П. Краєвська, Н. О. Стеценко // Інноваційні технології в готельно-ресторанному бізнесі : матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції, 22-23 березня 2017 р. К. : НУХТ, 2017. С. 64.
2. Товма Л. Ф. Обґрунтування інгредієнтного складу та розробка технології продукту спеціального споживання батончиків «Vitabar» / Л. Ф. Товма, І. Є. Морозов, В. В. Євлаш, С. Ю. Штриголь // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Технічні науки. 2019. Вип. 19, т. 3. С. 212-232.
3. Agbaje R., Hassan C. Z., Norlelawati A., Rahman A. A. and Huda-Faujan N. 2019. Development and physico-chemical analysis of granola formulated with puffed glutinous rice and selected dried Sunnah foods. *International Food Research Journal*. 23 (2). 498–506.
4. Sharma M. and Mridula D. 2015. Development and quality evaluation of maize-based fortified nutritious bar. *Agricultural Research*. 4 (1). 93–101.
5. Iuliano L., Gonzalez G., Casas N., Moncayo D. and Cote S. 2019. Development of an organic quinoa bar with amaranth and chia. *Food Science and Technology*. Vol. 1. 218–24.
6. Prazeres I. C., Carvalho A. V., Domingues A. F. N. and Abreu L. F. 2020. Preparing multicomponent snack bars based on tapioca flour, Brazil nut, and regional fruits. *Revista chilena de nutricion*. 47 (2). 190–99.
7. Saadat S., Akhtar S., Ismail T., Sharif M. K., Shabbir U., Ahmad N. and Ali A. 2020. Multilegume bar prepared from extruded legumes flour to address protein energy malnutrition. *Italian Journal of Food Science*. 32 (1). 167–80.
8. Vitorino K. C., Chambo A. P. S., Coradini M. F., Matiucci M. A., Michka J. M. G., Goes E. S. D., Goncalves A. A. and de Souza M. L. R. 2020. Cereal

bars flavored with fish protein concentrate from different species. *Journal of Aquatic Food Product Technology*. 29 (1). 65– 72.

9. Kaur R., Ahluwalia P., Sachdev P. A. and Kaur A. 2018. Development of gluten-free cereal bar for gluten intolerant population by using quinoa as major ingredient. *Journal of Food Science and Technology-Mysore*. 55 (9). 3584–91.

10. Ramzan S. Oat: a novel therapeutic ingredient for food applications. *Journal of Microbiology Biotechnology and Food Sciences*. 9 (4). 756–60.

11. Munshi R., Kochhar A. and Kaur A. 2020. Nutrient selection and optimization to formulate a nutrient bar stable on storage and specific to women at risk of osteoporosis. *Journal of Food Science and Technology-Mysore*. 57. 3099–3107.

12. Karim A. A., Rajeev B. 2009. Fish gelatin: properties, challenges, and prospects as an alternative to mammalian gelatins. *Food Hydrocolloids*. 3. 563-576.

13. Haug I. J., Draget K. I. 2009. Handbook of hydrocolloids (Second edition). Gelatin Series in Food Science, Technology and Nutrition. 142-163.

14. Iakubuva O. S., Bekesheva A. A. 2018. Scientific rationale for the physical properties of fish gelatin. *Bulletin of Astrakhan State Technical University. Series Fishing Industry*. 3. 132-140.

15. Tao H., Zong-cai T., Xinchen S., Xiaomei S., Hui W., Lu Z. and Nidhi B. 2019. Fish gelatin modifications: A comprehensive review *Trends in Food Science & Technology*. 86 260-269.

16. Da Silva R. S. G., Pinto L. A. A. I. 2012. Physical cross-linkers: alternatives to improve the mechanical properties of fish gelatin. *Food engineering reviews*. 4165-170.

17. A. Bono, S. Anisuzzaman, and O. W. Ding, (2014). “Effect of process conditions on the gel viscosity and gel strength of semi-refined carrageenan (SRC) produced from seaweed (*Kappaphycus alvarezii*)». *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*. 26(1): 3–9.

18. J. Venkatesan, B. Lowe, S. Anil, P. Manivasagan, A. A. A. Kheraif, K.-H. Kang, and S. - K. Kim, (2015). "Seaweed polysaccharides and their potential biomedical applications». *Starch-Stärke*. 67(5-6): 381–390.
19. J. Zhao, C. Sun, H. Li, X. Dong, and X. Zhang, (2020). "Studies on the physicochemical properties, gelling behavior and drug release performance of agar/ κ -carrageenan mixed hydrogels». *International journal of biological macromolecules* 154: 878–887.
20. V. T. Bui, B. T. Nguyen, T. Nicolai, and F. Renou, (2019). "Mixed iota and kappa carrageenan gels in the presence of both calcium and potassium ions». *Carbohydrate polymers* 223: 115107.
21. T. G. Polat, O. Duman, and S. Tunc, (2020). "Preparation and characterization of environmentally friendly agar/ κ -carrageenan/montmorillonite nanocomposite hydrogels». *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 602: 124987.
22. D. Valderrama, J. Cai, N. Hishamunda, and N. Ridler, (2013). "Social and economic dimensions of carrageenan seaweed farming». *Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 580*.
23. B. Arifin, A. Bono, A. Prabakar, N. Siambun, and R. Mubin. "Extraction, clarification and physical characteristics of carrageenan from seaweed (*Euclima cottonii*)". In: *Proceedings of International Conference on Chemical and Bioprocess Engineering, Universiti Malaysia Sabah and Kota Kinabalu*. 2003.
24. N. Rhein-Knudsen, M. T. Ale, and A. S. Meyer, (2015). "Seaweed hydrocolloid production: an update on enzyme assisted extraction and modification technologies». *Marine drugs*. 13(6). 3340–3359.
25. J. Necas and L. Bartosikova, (2013). "Carrageenan: a review». *Veterinarni medicina*. 58(4).
26. A. I. Usov, (2011). "Polysaccharides of the red algae». *Advances in carbohydrate chemistry and biochemistry*. 65. 115–217.

27. T. Barbeyron, G. Michel, P. Potin, B. Henrissat, and B. Kloareg, (2000). “ ι -Carrageenases constitute a novel family of glycoside hydrolases, unrelated to that of κ -carrageenases». *Journal of Biological Chemistry*. 275 (45). 35499–35505.
28. V. L. Campo, D. F. Kawano, D. B. da Silva Jr, and I. Carvalho, (2009). “Carrageenans: Biological properties, chemical modifications and structural analysis–A review». *Carbohydrate polymers*. 77 (2). 167–180.
29. E. M. Vilén, L. C. Lundqvist, D. Jouanneau, W. Helbert, and C. Sandstrom, (2010). “NMR study on hydroxy protons of κ -and κ/μ -hybrid carrageenan oligosaccharides: experimental evidence of hydrogen bonding and chemical exchange interactions in κ/μ oligosaccharides». *Biomacromolecules*. 11 (12). 3487–3494.
30. D. Mondal, A. Ghosh, K. Prasad, S. Singh, N. Bhatt, S. Zodape, J. P. Chaudhary, J. Chaudhari, P. B. Chatterjee, A. Seth, et al., (2015). “Elimination of gibberellin from *Kappaphycus alvarezii* seaweed sap foliar spray enhances corn stover production without compromising the grain yield advantage». *Plant Growth Regulation*. 75 (3). 657–666.
31. Khotimchenko, M. Pectin polymers for colon-targeted antitumor drug delivery. *International Journal of Biological Macromolecules*. (2020). Vol. 158. P. 1110-1124
32. Baldino N., Mileti O., Lupi F. R., Gabriele D. Rheological surface properties of commercial citrus pectins at different pH and concentration. *LWT - Food Sci. Technol.* (2018). 93, 124–130.
33. Picot-Allain, M.C.N., Ramasawmy, B., Emmambux, M.N.: Extraction, Characterisation, and Application of Pectin from Tropical and Sub-Tropical Fruits: A Review. *Food Rev. Int.* (2020). P. 282-312.
34. Senit J. J., Velasco D., Gomez Manrique A., Sanchez-Barba M., Toledo J. M., Santos V. E., Garcia Ochoa F., Yustos P., Ladero M. (2019). Orange peel waste upstream integrated processing to terpenes, phenolics, pectin and monosaccharides: Optimization approaches. *Ind. Crops Prod.* 134. 370–381.

35. Mellinas C., Ramos M., Jimenez A., Garrigos M. C. Recent Trends in the Use of Pectin from AgroWaste Residues as a Natural-Based Biopolymer for Food Packaging Applications. *Materials (Basel)*. (2020). 13. 673.
36. Mudgil D. The Interaction Between Insoluble and Soluble Fiber. In: Samaan, R. (ed.) *Dietary Fiber for the Prevention of Cardiovascular Disease*. Elsevier Inc. (2017). p. 35–59.
37. Polanco-Lugo E., Martínez-Castillo J. I., Cuevas-Bernardino J. C., González-Flores T., Valdez Ojeda R., Pacheco N., Ayora-Talavera T. Citrus pectin obtained by ultrasound-assisted extraction: Physicochemical, structural, rheological and functional properties. *CyTA – Journal of Food*. (2019). 17 463–471.
38. Bower J. A., Whitten, R. (2000). Sensory characteristics and consumer linking for cereal bar snack foods. *Journal of Sensory Studies*. 15(3). 327–345.
39. Barcenas M. E., O-Keller J. D. L., Rosell C. M. (2009). Influence of different hydrocolloids on major wheat dough components (gluten and starch). *Journal of Food Engineering*. 94. 241–247.
40. Covino R., Monteiro A. R. G., Scapim M. R. S., Marques D. R., Benossi L., & Monteiro C. C. F. (2015). Manufacturing cereal bars with high nutritional value through experimental design. *Acta Scientiarum-Technology*. 37(1). 149–154.
41. da Silva E. P., Siqueira H. H., do Lago R. C., Rosell C. M., Vilas Boas E. V. D. B. (2014). Developing fruit-based nutritious snack bars. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 94(1). 52–56.
42. Gomez M., Ronda F., Caballero P. A., Blanco C. A., Rosell C. M. (2007). Functionality of diferente hydrocolloids on the quality and shelf-life of yellow layer cakes. *Food Hydrocolloids*. 21. 167–173.
43. Gutkoski L. C., Bonamigo J. M. A., Teixeira D. M. F., Pedo I. (2007). Desenvolvimento de barras de cereais à base de aveia com alto teor de fibra alimentar [Development of oat based cereal bars with high dietary fiber content]. *Food Science and Technology (Campinas)*. 27(2). 355– 363.

44. Kohajdova. Z., Karovicova J. (2009). Application of hydrocolloids as baking improvers. *Chemical Papers*. 63(1). 26–38.
45. Lazaridou A., Duta D., Papageorgiou M., Belc N., Biliaderis C. G. (2007). Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*. 70. 1033–1047.
46. Pehanich M. (2003). No holds barred. *Prepared Foods*. 172(3). 79– 80.
47. Sousa A., Velho M., Alves M., Pinheiro R. (2019). Hydrocolloids effect on coating batter and on organoleptic properties of rissol regenerated in oven and comparison with deep-frying process. *Millenium - Journal of Education, Technologies, and Health*. 2(8). 69–78.
48. Choo W. S., Yong W. K. (2011). Antioxidant properties of two species of *Hylocereus* fruits. *Advances in Applied Science Research*. 2(3). 418–425.
49. Correa, R. C., Peralta R. M., Haminiuk C. W., Maciel G. M., Bracht A., Ferreira I. C. (2016). The past decade findings related with nutritional composition, bioactive molecules and biotechnological applications of *Passiflora* spp. (passion fruit). *Trends in Food Science & Technology*. 58. 79–95.
50. He X., Luan F., Yang Y., Wang Z., Zhao Z., Fang J., et al., (2020). *Passiflora edulis*: An insight into current researches on phytochemistry and pharmacology. *Frontiers in pharmacology*. 11. 617.
51. Abu-Jdayil B., Al-Malah K., Asoud, H. (2002). Rheological characteriza- tion of milled sesame (tehineh). *Food Hydrocolloids*. 16(1). 55–61.
52. Asghar A., Majeed M. N., Akhtar M. N. (2014). A review on the utilization of sesame as functional food. *American Journal of Food and Nutrition*. 4(1). 21–34.
53. Bagheri F., Radi M., Amiri, S. (2014). Use of sweetener stevioside for produce dietary breakfast cream. *Agriculture Science Developments*. 3 (9). 284–291.
54. Borchani C., Besbes S., Blecker C., Attia H. (2010). Chemical characteristics and oxidative stability of sesame seed, sesame paste, and olive oils.

Journal of Agriculture Science and Technology. 12. 585–596.

55. Gabsi K., Trigui M., Barrington S., Helal A. N., Taherian A. R. (2013). Evaluation of rheological properties of date syrup. *Journal of Food Engineering*. 117(1). 165–172.

56. Hou L.-X., Li C.-C., Wang X.-D. (2018). Physicochemical, rheological and sensory properties of different Brands of Sesame Pastes. *Journal of Oleo Science*. 67(10). 1291–1298.

57. Maqsood S., Adiamo O., Ahmad M., Mudgil P. (2019). Bioactive compounds from date fruit and seed as potential nutraceutical and functional food ingredients. *Food Chemistry*. 308. 125522.

58. Megala P., Hymavathi T. V. (2011). Inulin and Fructooligosaccharides Incorporated Functional Fruit Bars. *World academy of science, engineering and technol.* 59. 11–25.

59. Nagendra Prasad M., Sanjay K., Prasad D., Vijay N., Kothari R., Nanjunda Swamy S. (2012). A review on nutritional and nutraceutical properties of sesame. *Journal of Nutrition and Food Science*. 2(127). 2.

60. Zhang C.-R., Aldosari S. A., Vidyasagar P. S., Shukla P., Nair M. G. (2017). Health-benefits of date fruits produced in Saudi Arabia based on in vitro antioxidant, anti-inflammatory and human tumor cell proliferation inhibitory assays. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 16(3). 287–293.

61. Carvalho M. G., Costa J. M. C., Rodrigues M. C. P., Sousa P. H. M., Clemente E. (2011). Formulation and sensory acceptance of cereal-bars made with almonds of chichá, sapucaia and gurguéia nuts. *The Open Food Science Journal*. 5(1). 26-30.

62. Friedrichsen J. S. A., Saqueti B. H. F., Bruni A. R. S. Development of a cereal bar with the addition of sweet potato flour, collagen and betaine: review of the ingredients used and feasibility. *Research Society and Development*. 2022. 11(13).

63. Huang X. Hsieh F.H. 2005. Physical properties, sensory attributes, and

consumer preference of pear fruit leather. *J. Food Sci.* 70. 177–186.

64. Phimpfarian C., Jangchud A., Jangchud K., Therdthai N., Prinyawiwatkul W. No H.K. 2011. Physico-chemical characteristics and sensory optimisation of a pineapple leather snack as affected by glucose syrup and pectin concentrations. *Int. J. Food Sci. Technol.* 46. 972–981.

65. Sousa A.M., Borges J., Silva A.F., Goncalves M.P. Influence of the extraction process on the rheological and structural properties of agars. *Carbohydrate Polymers*. 2013. Vol. 96, N 1. p. 163–171.

66. Usov A.I. Polysaccharides of the red algae. *Advances in carbohydrate chemistry and biochemistry*. 2011. Vol. 65, p. 115–217.

67. Delattre C., Fenoradosa T.A., Michaud P. Galactans: An Overview of their Most Important Sourcing and Applications as Natural Polysaccharides. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 2011. Vol. 54 (6). p. 1075–1092.

68. Usov A.I. Sulfated polysaccharides of the red seaweeds. *Food Hydrocolloids*. 1992. 1. p. 9–23.

69. Usov A.I. Structural analysis of red seaweed galactans of agar and carrageenan groups. *Food Hydrocolloids*. 1998. Vol. 12(3). p. 301–308.

70. Labropoulos K.C., Niesz D.E., Danforth S.C., Kevrekidis P.G. Dynamic rheology of agar gels: theory and experiments. Part I. Development of a rheological model. *Carbohydrate Polymers*. 2002. Vol. 50(4). p. 393–406.

71. Nordqvist D., Vilgis T.A. Rheological Study of the Gelation Process of Agarose-Based Solutions. *Food Biophysics*. 2011. Vol. 6(4). p. 450.

72. Arham R., Mulyati M.T., Metusalach M. and Salengke S. Physical and mechanical properties of agar based edible film with glycerol plasticizer. *International Food Research Journal*. (2016). 23(4). 1669-1675.

73. Nemet N.T., Soso V.M. Lazic V.L. 2010. Effect of glycerol content and pH value of film-forming solution on the functional properties of protein-based edible films. *APTEFF*. 41. 57-67.

74. Sudaryati H.P., Mulyani S.T. Hansyah, E.R. 2010. Physical and mechanical properties of edible film from porang (*Amorphophallus oncophyllus*) flour and carboxymethyl-cellulose. *Jurnal Teknologi Pertanian*. 11(3). 196-201.
75. Ahmadi R., Kalbasi-Ashtari A., Oromiehie A., Yarmand M.S. Jahandideh F. 2012. Development and characterization of a novel biodegradable edible film obtained from psyllium seed (*Plantago ovata* Forsk). *Journal of Food Engineering*. 109. 745-751.
76. Vieira M. G. A. Da Silva M. A., Dos Santos L. O. Beppu M. M. 2011. Natural-based plasticizers and biopolymer films: a review. *European Polymer Journal*. 47. 254-263.
77. Bourtoom T. 2008. Plasticizer effect on the properties of biodegradable blend films from rice starch-chitosan. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*. 30(1). 149-155.
78. Ramos O. L., Reinas I., Silva S. I., Fernandes J. C., Cerqueira M. A., Pereira R. N., Vicente A. A., Pocos M. F., Pintado M. E. Malcata F. X. 2013. Effect of whey protein purity and glycerol content upon physical properties of edible films manufactured therefrom. *Food Hydrocolloids*. 30. 110-122.
79. Sanyang M. L., Sapuan S. M., Jawaid M., Ishak M. R. Sahari J. 2015. Effect of glycerol and sorbitol plasticizers on physical and thermal properties of sugar palm starch based films. In Bulucea, A (Ed). *Proceedings of the 13th International Conference on Environment, Ecosystems and Development (EED '15)*. p. 157.
80. Demchenko D. V., Pozharitskaya O. N., Shikov A. N. *et al*. Rheological Study of Agar Hydrogels for Soft Capsule Shells. *Pharm Chem J*. (2014). 47. 556–558.
81. Venugopal V. 2011. *Marine Polysaccharides: Food Applications*. Boca Raton: CRC Press.
82. Wu Y., Geng F., Chang P. R., Yu J. Ma X. 2009. Effect of agar on the microstructure and performance of potato starch film. *Carbohydrate Polymers*. 76.

299-304.

83. Sobral P. J. A., Menegalli F. C., Hubinger M. D., Roques M.A. 2001. Mechanical, water vapor marrier and thermal properties of gelatin based edible films. *Food Hydrocolloid*. 15. 423-432.

84. Herliany N. E., Santoso J., Salamah E. 2013. Characteristics of biofilm-based on carrageenan. *Jurnal Akuatika*. 4(1).10-20.

85. Katili S., Harsunu B. T., Irawan S. 2013. Effect of plasticizer concentration of glycerol and chitosan compositions in the solvent on the physical properties of chitosan edible film. *Jurnal Teknologi*. 6(1). 29-38.

86. Oses J., Fernandez-Pan I., Mendoza M., Mate J. I. 2009. Stability of the mechanical properties of edible films based on whey protein isolate during storage at different relative humidity. *Food Hydrocolloids*. 23. 125-131.

87. Oakenfull D, Glicksman M. (2009). Gelling agents. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 26(1). 1–25.

88. Yapeng Fang, Hongbin Zhang, Katsuyoshi Nishinari (2021). *Food Hydrocolloids: Functionalities and Applications*. Springer Nature Singapore Pte Ltd. ISBN 978-981-16-0319-8. p. 524.

89. Alan Imeson (2011). *Food Stabilisers, Thickeners and Gelling Agents*. John Wiley & Sons. ISBN 1405132671. p. 368.

90. Shakeel Ahmed, Aisverya Soundararajan (2018). *Marine Polysaccharides: Advances and Multifaceted Applications*. CRC Press. ISBN 0429608187. p. 322.

91. Holdt S. L., Kraan S. (2011). Bioactive compounds in seaweed: functional food applications and legislation, *J. Appl. Phycol*. 23. p. 543–597.

92. Venugopal V. (2011). *Marine Polysaccharides—Food Applications*. CRC Press. Boca Raton. FL.

93. Blakemore W. R., Harpell A. R. (2010). Carrageenan. In Imeson, A. (ed.) *Food Stabilisers, Thickeners and Gelling Agents* (Wiley-Blackwell, Chichester).

p. 73–94.

94. Candogan K., Kolsarici N. (2003). The effects of carrageenan and pectin on some quality characteristics of low-fat beef frankfurters. *Meat Sci.* 64. p. 199–206.

95. Mahmoud Nasrollahzadeh (2021). *Biopolymer-Based Metal Nanoparticle Chemistry for Sustainable Applications: Volume 2: Applications.* Elsevier. ISBN 0323898912. p. 724.

96. James N. BeMiller (2018). *Carbohydrate Chemistry for Food Scientists Third Edition.* Elsevier. ISBN 0128134380. p. 440.

97. Vagner De Alencar Arnaut De Toledo, Emerson Dechechi Chambo. *Honey Analysis: New Advances and Challenges.* BoD – Books on Demand, London, United Kingdom. 2020.

98. Eva Crane. *A Book of Honey.* Northern Bee Books. 2019.

99. Victor R. Preedy. *Processing and Impact on Active Components in Food.* Academic Press, USA. 2014.

100. Joseph F. Zayas. *Functionality of Proteins in Food.* Springer Science & Business Media, Germany. 2012.

101. Hubskyi S., Muzyka Ya., Foshchan A., Evlash V., Kaluhyn O. Rheological properties of aqueous solutions of agar, gelatin and their mixtures for jelly products. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series: Chemistry.* (2018). 31. 64-78.

102. Martínez-Sanz M., Gomez-Mascaraque L. G., Ballester A. R., Martinez-Abad A., Brodkorb A., Lopez-Rubio A. Production of unpurified agar-based extracts from red seaweed *Gelidium sesquipedale* by means of simplified extraction protocols. *Algal Res.* 2019. 38. 101420.

103. Armisen R., Gaiatas F. 4—Agar. *Woodhead Publishing series in food science, technology and nutrition, handbook of hydrocolloids, 2nd edn.* Woodhead Publishing. 2009. 82–107.

104. Barbara H Stuart. *Infrared Spectroscopy: Fundamentals and*

Applications. University of Technology. Sydney. Australia. 2004.

105. Madera-Santana T.J., Freile-Pelegrín Y., Azamar-Barrios J.A. Physicochemical and morphological properties of plasticized poly(vinyl alcohol)-agar biodegradable films. *Int. J. Biol. Macromol.* 2014. 69. 176-184.

106. Alpaslan D., Dudu T.E., Aktaş N. Synthesis and characterization of novel organo-hydrogel based agar, glycerol and peppermint oil as a natural drug carrier/release material. *Mater. Sci. Eng. C.* 2021. 118. 111534.

107. Sinaga M. Z. E., Gea S., Zuhra C. F., Sihombing Y. A., Zaidar E., Sebayang F., Ningsih T. U. The effect of plasticizers and chitosan concentration on the structure and properties of *Gracilaria* sp.-based thin films for food packaging purpose. *Polimery.* 2021. 66 (2).

108. Fathiraja P., Gopalrajan S., Karunanithi M., Nagarajan M., Obaiah M. C., Durairaj S., Neethirajan N. Response surface methodology model to optimize concentration of agar, alginate and carrageenan for the improved properties of biopolymer film. *Polym. Bull.* 2022. 79. 6211–6237.

109. Elhefian E. A., Nasef M. M., Yahaya A. H. Preparation and characterization of chitosan/agar blended films: part 2. Thermal, mechanical, and surface properties. *E-J Chem.* 2012. 9(2). 510–516.

110. Fathiraja P., Gopalrajan S., Karunanithi M., Nagarajan M., Obaiah M. C., Durairaj S., Neethirajan N. Development of a biodegradable composite film from chitosan, agar and glycerol based on optimization process by response surface methodology. *Cellulose Chemistry and Technology.* 2021. 55 (7-8). 849-865.

111. Campa-Siqueiros P. I., Vargas-Arispuro I., Quintana-Owen P., Freile-Pelegrín Y., Azamar-Barrios J. A., Madera-Santana T. J. Physicochemical and transport properties of biodegradable agar films impregnated with natural semiochemical based-on hydroalcoholic garlic extract. *Int. J. Biol. Macromol.* 2020. 151. 27-35.

112. Wu Y., Geng F., Chang P. R., Yu J., Ma X. Effect of agar on the

microstructure and performance of potato starch film. *Carbohydr. Polym.* 2009. 76. 299-304.

113. Phillips G., Williams P. *Handbook of Hydrocolloids*. Second Edition, 2009.

114. Elhefian E., Nasef M., Yahaya A. Preparation and Characterization of Chitosan/Agar Blended Films: Part 1. Chemical Structure and Morphology. *J. Chem.* 2012. 9. 1431–1439.

115. Rochas C., Lahaye M., Yaphe W. Sulfate content of carrageenan and agar determined by infrared spectroscopy. *Bot. Mar.* 1986. 29. 335-340.

116. Shahnaz L., Shehnaz H., Haider A. Fourier transform infrared (FT-IR) spectroscopic investigations of four agarophytes from northern Arabian sea. *Bangladesh J. Bot.* 2019. 48.

117. Yuki Kataoka, Norio Kitadai, Osamu Hisatomi, Satoru Nakashima Nature of Hydrogen Bonding of Water Molecules in Aqueous Solutions of Glycerol by Attenuated Total Reflection (ATR) Infrared Spectroscopy / *Applied Spectroscopy* V. 65(4). 2011 436-441.

118. Tykhonov O.I., Tykhonova S.O., Yarnykh T.H., Shpychak O.S., Podorozhna L.N., Zuikina S.S., Andrieieva I.V., Bohutskaia Ye.Ie. Natural honey in medicine and pharmacy (origin, properties, application, medicinal preparations): *Monohrafiia; Kharkiv: Oryhinal.* 2010. 263.

119. Formosa J. P., Lia F., Mifsud D., Farrugia C. Application of ATR-FT-MIR for Tracing the Geographical Origin of Honey Produced in the Maltese Islands. *Foods.* 2020. 9. 710.

120. Sahlan M., Karwita S., Gozan M., Hermansyah H., Yohda M., Young Je Yoo Y. J., Pratami D. K. Identification and classification of honey's authenticity by attenuated total reflectance Fourier-transform infrared spectroscopy and chemometric method. *Veterinary World.* 2019. 12(8). 1304-1310.

121. Wei X., Liu K., Zhang Y., Feng Q., Wang L., Zhao Y., Li D., Zhao Q.,

Zhu X., Li W., Fan D., Gao Y., Lu Y., Zhang X., Tang X., Zhou C., Zhu C., Liu L., Zhong R., Tian Q., Wen Z., Weng Q., Han B., Huang X., Zhang X. Genetic discovery for oil production and quality in sesame. *Nat. Commun.* 2015. 6. 8609.

122. Pathak N., Rai A., Saha S., Walia S., Sen S., Bhat K. Quantitative dissection of antioxidative bioactive components in cultivated and wild sesame germplasm reveals potentially exploitable wide genetic variability. *J. Crop Sci. Biotechnol.* 2014. 17. 127-139.

123. Safonova O., Teymurova A. Infrared spectroscopy study of water in protein-polysaccharide gels. *Printed Proceedings of 11th International Congress on Engineering and Food – ICEF 11.* 2011. 2. 969.

124. Дорохович А. М., Мурзін А. В., Клепиков І. Л. Тиксотропія кондитерських агарових гелів. *Хлібний та кондитерський бізнес.* 2014. Vol. 6 (19). С. 34-37.

125. Соколовська І.О., Камбулова Ю.В., Оверчук Н.О. Дослідження ступеню зв'язування води в гелях пектину і альгінату натрію. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2016. Vol. 2(11). с. 1-11.

126. Шаніна О. М., Боровікова Н. О., Гавриш Т. В., Дугіна К. В., Фейзопуло О. Е. Вплив добавок білкової та полісахаридної природи на вологоутримуючу здатність безклейковинного тіста. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства.* 2019. 207. С. 132-141.

127. Кошель О.Ю., Перцевой Ф.В., Марченко О.С., Чуйко О.В., Самілик М. М. Дериватографічні дослідження компонентів розроблених молоковісних термостабільних начинок з желатином та трансглютаміназою. *Науковий вісник ТДАТУ.* 2020. Вип. 10. Т. 2. С. 232-238.

128. Камбулова Ю.В., Матяс Д.С., Маліновський В.В. Реологічні показники мармеладних мас на агарі і карраганані з різновидами цукрів. *Технології харчових продуктів і комбікормів: матеріали міжнародної наук.-*

практ. конф. Одеса. 2017. С. 24-26.

129. Горальчук А. Б., Троший Т. В., Сабадош Г. О., Дослідження впливу технологічних чинників на міцність гелів капа-карагіану. Оборудование и технологии пищевых производств. Тематический сборник научных трудов. 2012. Vol. 29 (1). с. 264.

130. Гурський П. В., Бідюк Д.О., Перцевой Ф.В., Дослідження впливу агару на реологічні характеристики паст закусочних. Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: зб. наук. пр. / відпов. ред. О.І. Черевко. Харків: ХДУХТ. 2009. Вип. 2 (10). с. 63-69.

131. Овсяннікова Л. Г., Перцевой Ф. В., Бідюк Д. О. Вивчення міцності змішаних гелів на основі агару. Інноваційні технології розвитку у сфері харчових виробництв, готельно-ресторанного бізнесу, економіки та підприємництва: наукові пошуки молоді : Всеукр. наук.- практ. конф. молодих учених і студентів (7 квітня 2016 р.) : [тези у 2-х ч.]. Х.: ХДУХТ. 2016. Ч. 1. с. 34.

132. Кордзая Н. Р., Ковалів І. О. Вивчення компонентного складу батончиків зернових, що реалізуються у торговельних мережах м. Одеса та Одеської області. Вісник Львівського торговельно-економічного університету. Технічні науки. 2019. Вип. 22. С. 74-80.

133. Стеценко Н. О., Сімахіна Г. О., Гойко І. Ю. Овочево-горіховий батончик для раціонів військовослужбовців. Strategy of Quality in Industry and Education : proceedings of the XIV International Conference (June 4-7, 2018, Varna, Bulgaria). 2018. Volume 2. С. 175-180.

134. Hasler C. M. Position of the American Dietetic Association: functional foods / C. M. Hasler, A. C. Brown // Journal of the American Dietetic Association. – 2009. Vol. 109 (4). Pp. 735–746.

135. Competitive adsorption in protein stabilized emulsions containing oil-soluble and water-soluble surfactants / Dickinson E. et al. // Food Colloids and

Polymers: Stability and Mechanical Properties. Royal Society of Chemistry, London, 1993. Pp. 312–322.

136. Pat. 5149557 United States, MPK⁷ A23L1/19. Whippable non-dairy creams / Morrison Anthony, Kimsey Ian M., Marks Heather ; applicant and patentee Van den Bergh Foods Co., Division of Conopco, Inc. № 07/694182 ; appl. 05.01.1991 ; published. 09/22/1992, Bul. № 12. 8 p.

137. Pat. 3883670 United States, MPK⁷ A23L1/19, A23D5/00. Pourable cream concentrate / Pennings Henricus Jacobus, Herendi Norbert ; applicant and patentee Lever Brothers Company. № 05/423372 ; appl. 12.07.1973; published. 05.13.1975, Bul. № 22. 7 p.

138. Pat. 4360535 United States, MPK⁷ A23C11/10, A23L1/035, A23L1/19, A23C11/00, A23L1/03, A23L1/19, A23C11/04. Artificial cream composition and method of preparation / Darling Donald F., Dicks Eric ; applicant and patentee Lever Brothers Company (New York, NY). № 06/327662 ; appl. 12/04/1981; published. 11/23/1982, Bul. № 19. 10 p.

139. Pat. 20070071874 United States, MPK⁷ A23D9/00. Cream compositions and food foams made therefrom / Cash Mary Jean, Erazo-majewicz Paquita, Politis Jeffrey K. ; applicant and patentee Hercules Incorporated. – № 11/529085 ; appl. 09.28.2006; published. 03.29.2007, Bul. № 85. 9 p.

140. Pat. 6497914 United States, MPK⁷ A23C13/12, A23D7/00, A23D7/04, A23D9/00, A23L1/00, A23L1/19, A23C13/00, A23D7/02, A23C11/04. Oil-and-fat feedstock for production of cream and low-oil cream composition / Hidaka Hiroshi, Miyabe Masaaki, Iwai Naomi, Ebihara Yoshitaka, Izumi Tugio ; applicant and patentee Fuji Oil Co., Ltd. – № 08/193028 ; appl. 02/03/1994; published. 12.24.2002, Bul. № 15. 12 p.

141. Guzey D. Formation, stability and properties of multilayer emulsions for application in the food industry / D. Guzey, D. J. McClements // Advances in colloid and interface science. 2006. Vol. 128, № 21. Pp. 227–248.

142. McClements D. J. Theoretical analysis of factors affecting the formation and stability of multilayered colloidal dispersions / D. J. McClements // *Langmuir*. 2005. Vol. 21, № 11. Pp. 9777–9785.
143. Allen K. Development of a model whipped cream: Effects of emulsion droplet liquid/solid character and added hydrocolloid / K. Allen, B. Murray, E. Dickinson // *Food Hydrocolloids*. 2008. Vol. 22, Issue 4. Pp. 690–699.
144. Dickinson E. Stabilising emulsion-based colloidal structures with mixed food ingredients / E. Dickinson // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2012. Vol. 93, Issue 4. Pp. 710–721.
145. Dickinson E. Interfacial particles in food emulsions and foams / E. Dickinson, B. P. Binks, T. S. Horozov // *Colloidal particles at liquid interfaces*. 2006. P. 298–327.
146. Allen K. Whipped cream-like textured systems based on acidified caseinate-stabilized oil-in-water emulsions / K. Allen, B. Murray, E. Dickinson // *International Dairy Journal*. 2008. Vol. 18, Issues 10–11. Pp. 1011–1021.
147. Chanamai R. Prediction of emulsion colour from droplet characteristics: monodisperse oil-in-water emulsions / R. Chanamai, D. J. Clements // *Food Hydrocolloids*. 2001. Vol. 15. Pp. 83–92.
148. Dickinson E. Milk protein interfacial layers and the relationship to emulsion stability and rheology / E. Dickinson // *Coll. Surf. B: Biointerfaces*. 2001. Vol. 20. Pp. 354–363.
149. Stabilization of oil-in-water emulsions by colloidal particles modified with short amphiphiles / I. Akartuna [et al.] // *Langmuir*. 2008. Vol. 24 (14). Pp. 7161–7168.
150. Davies E. Orthokinetic destabilization of emulsions by saturated and unsaturated monoglycerides / E. Davies, E. Dickinson, R. D. Bee // *Inc. Dairy Journal*. 2001. Vol. 11. Pp. 827–836.

151. Wierengaa P. Reconsidering the importance of interfacial properties in foam stability / P. Wierengaa, L. van Noréla, E. Basheva // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2009. Vol. 344, Issues 1–3. Pp. 72–78.

152. Influence of protein heat treatment on the continuous production of food foams / I. Nicorescu [et al.] // *Food Res. Int.* 2010. Vol. 43. Pp. 1585–1593.

153. Müller-Fischer N. Influence of process parameters on microstructure of food foam whipped in a rotor-stator device with in a wide static pressure range / N. Müller-Fischer, E. J. Windhab // *Colloids and Surfaces: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2005. Vol. 263. Pp. 353–362.

154. Influence of protein heat treatment on the continuous production of food foams / I. Nicorescu [et al.] // *Food Res. Int.* 2010. Vol. 43. Pp. 1585–1593.

155. Schmitt C. Bulk self-aggregation drives foam stabilization properties of whey protein microgels / C. Schmitt, C. Bovay, M. Rouvet // *Food Hydrocolloids*. 2014. Vol. 42. Pp. 139–148.

156. On the origin of the remarkable stability of aqueous foams stabilised by nanoparticles: link with microscopic surface properties / A. Cervantes Martinez [et al.] // *Soft Matter*. 2008. Vol. 4. Pp. 1531–1535.

157. Maldonado-Valderrama J. On the difference between foams stabilized by surfactants and whole casein or β -casein. Comparison of foams, foam films, and liquid surfaces studies / J. Maldonado-Valderrama, D. Langevin // *J. Phys. Chem.* 2008. Vol. 112 (13). Pp. 3989–3996.

158. Müller-Fischer N. Influence of process parameters on microstructure of food foam whipped in a rotor-stator device with in a wide static pressure range / N. Müller-Fischer, E. J. Windhab // *Colloids and Surfaces: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2005. Vol. 263. Pp. 353–362.

159. On the origin of the remarkable stability of aqueous foams stabilised by nanoparticles: link with microscopic surface properties / A. Cervantes Martinez [et al.] // *Soft Matter*. 2008. Vol. 4. Pp. 1531–1535.

160. Dickinson E. Proteins at interfaces and in emulsions. Stability, rheology and interactions / E. Dickinson // *Journal of the Chemical Society, Faraday Transactions*. 199. Pp. 1657–1669.

161. Belyakova L. E. Effect of small molecule surfactants on molecular parameters and thermodynamic properties of legumin in a bulk and at the air-water interface depending on a protein structure in an aqueous medium / L. E. Belyakova, M. G. Semenova, A. S. Antipova // *Colloids and Surfaces B : Biointerfaces*. 1999. №. 12. Pp. 271 – 285.

162. Kelley D. Interactions of bovine serum albumin with ionic surfactants in aqueous solutions / D. Kelley, D. J. McClements // *Food Hydrocolloids*. 2003. №. 17. Pp. 73–85.

163. Influence of ionic surfactants on the microstructure of heat-set-lactoglobulin-stabilized emulsion gels / S. Kerstens, C. Mugnier, B. Murray, E. Dickinson // *Food Biophysics*. 2006. № 1 (3). Pp. 133–143.

164. Choi E. J. Surfactant displacement of human serum albumin adsorbed on loosely packed self-assembled monolayers: cetyltrimethyl ammonium bromide versus sodium dodecyl sulfate / E. J. Choi, M. D. Foster, // *Journal of Colloid Interface Science*. 2003. № 261 (2). Pp. 273–282.

165. Plasmin Hydrolysis of p-Casein: Foaming and Emulsifying Properties of the Fractionated Hydrolysate / P. W. J. R. Caessens [et al.] // *Journal of Agricultural Food Chemistry*. 1997. № 45. Pp. 2935–2941.

166. Krog N. Food emulsifiers and their chemical and physical properties. In *Food Emulsions* / N. Krog, S. E. Friberg and K. Larsson (Eds.). New York : Marcel Dekker. №. 4. Pp. 141–187.

167. Foam stability and interfacial properties of milk protein-surfactant systems / S. Rouimi, C. Schorsch, C. Valentini, S. Vaslin // *Food Hydrocolloids*. №. 19. Pp. 467–478.

168. Dickinson E. Food colloids research: Historical perspective and outlook / E. Dickinson // *Advances in Colloid and Interface Science*. 2011. Vol. 165, Issue 1. Pp. 7–13.
169. Beiyakova L. E. Effect of small molecule surfactants on molecular parameters and thermodynamic properties of legumin in a bulk and at the air-water interface depending on a protein structure ructure / Beiyakova L. E., Semenova, M.G., Antipova, A.S. New York : Marcel Dekker. 1999. Pp. 235–241.
170. Influence of ionic surfactants on the microstructure of heat-set-lactoglobulin-stabilized emulsion gels / S. Kerstens, C. Mugnier, B. Murray, E. Dickinson // *Food Biophysics*. 2006. №. 1 (3). Pp. 133–143.
171. Foam stability and interfacial properties of milk protein-surfactant systems / S. Rouimi, C. Schorsch, C. Valentini, S. Vaslin, // *Food Hydrocolloids*. №. 19. Pp. 467–478.
172. Cox R. Exceptional stability of food foams using class II hydrophobin HFBII / R. Cox, L. Aldred, B. Russell // *Food Hydrocolloids*. 2009. Vol. 23. Issue 2. Pp. 366–376.
173. Borcherdig K. Effect of protein content, casein-whey protein ratio and pH value on the foaming properties of skimmed milk / K. Borcherdig, P. Lorenzen, W. Offmann // *International Journal of Dairy Technology*. 2009. Vol. 62 (2). Pp. 161–169.
174. Indrawati L. Effect of processing parameters on foam formation using acontinuous system with amechanical whipper / L. Indrawati, Z. Wang, G. Narsimhan // *Journal of food engineering*. 2008. Issue 88. Pp. 65–74.
175. Fameaua A. Effect of particles and aggregated structures on the foam stability and aging / A. Fameaua, A. Salonen // *Comptes Rendus Physique*. 2014. Vol. 15, Issues 8–9. Pp. 748–760.
176. Сабадош Г. О. Технологія десертів молочних з використанням карагенанів : дис. канд. техн. наук / Сабадош Ганна Олександрівна. Х., 2010. 276 с.

177. Pat. 5149557 United States, MPK⁷ A23L1/19. Whippable non-dairy creams / Morrison Anthony, Kimsey Ian M., Marks Heather; applicant and patentee Van den Bergh Foods Co., Division of Conopco, Inc. № 07/694182 ; appl. 05.01.1991 ; published. 09/22/1992.

178. Національний університет харчових технологій [Електронний ресурс] / Інформація про наукову діяльність. – Режим доступу : http://www.nuft.edu/Sci_F031.htm.

179. Pat. 20070071874 United States, MPK⁷ A23D9/00. Cream compositions and food foams made therefrom / Cash Mary Jean, Erazo-majewicz Paquita, Politis Jeffrey K. ; applicant and patentee Hercules Incorporated. № 11/529085 ; appl. 09.28.2006 ; published. 03.29.2007.

180. Реологічні методи дослідження сировини і харчових продуктів та автоматизація розрахунків реологічних характеристик : навчальний посібник / А.Б. Горальчук, П.П. Пивоваров, О.О. Гринченко, та ін.; Харк. держ. ун-т харч. та торгівлі. Харків, 2006. 63 с.

181. Продукція харчова. Основні положення : ДСТУ 3946-2000. Київ, Держспоживстандарт України 2000. 6 с.

182. Вивчення молекулярної рухливості води в термостійкій молококмісній начинці / Г. Д. Любенко, М. В. Обозна, Ф. В. Перцевой, Г. О. Дьяков // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: зб. наук. пр. Харків : ХДУХТ, 2014. Вип. 1 (19). С. 25 – 32.

183. Залевська Н. О. Удосконалення технології здобного печива з начинкою: автореф. дис. ... на здобуття науку ступеня канд. техн. наук: спец. 05.18.01 / Н. О. Залевська К., 2006. 20 с.

184. Ластухін Ю. О. Органічна хімія: підручник / Ю. О. Ластухін, С. А. Воронов. Львів : Центр Європи, 2001. 864 с.

185. Литвин Б. Л. Фізичні методи дослідження будови органічних речовин: метод. Посібник / Б. Л. Литвин. Івано-Франківськ: Прикарпатський нац. ун-т ім. В. Стефаника, 2009. 134 с.

186. Любенко Г. Д. Дослідження термічної стійкості та температури плавлення молоковмісної начинки / Г. Д. Любенко, М. В. Обозна, Ф. В. Перцевой // Інноваційні технології в харчовій промисловості та ресторанному господарстві: Міжнар. наук.-практ. інтернет-конференція, 12 – 14 листопада 2014 р. : тези доп. Харків: ХДУХТ, 2014. С. 47 – 49.

187. Любенко Г. Д. Особливості технології та рецептури термостійкої молоковмісної начинки з використанням пектину / Г. Д. Любенко // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: зб. наук. пр. Харків : ХДУХТ, 2013. Вип. 2 (18). С. 47 – 51.

188. Нанотехнології заморожених кріопаст із плодів та овочів з унікальними характеристиками – добавок для функціональних молочних продуктів / [Р. Ю. Павлюк, В. В. Погарська, С. М. Лосєва та ін.] // Молокопереробка. К., 2010. Вип. 1. С. 24–29.

189. Обозна М. В. Дослідження жирнокислотного складу термостійкої молоковмісної начинки з концентратом насіння кунжуту / М. В. Обозна, Г. Д. Любенко, Ф. В. Перцевой // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: зб. наук. пр. Харків : ХДУХТ, 2015. Вип. 1 (21). С. 429 – 441.

190. Обозна М. В. Технологія сирного продукту замороженого з рослинними добавками: дис. ... канд. техн. наук : 05.18.16 / Обозна Маргарита Василівна. Харків, 2012. 374 с.

191. Окисне псування харчових продуктів і методи контролю якісних показників тваринних жирів навч.-метод. посібник / Л. В. Баль-Прилипка, С. Д. Мельничук, В. Й. Лоханська, Н. М. Слободянюк та ін. К., 2011. 130 с.

192. Пат. 38920 Україна, МПК А23G 3/00. Спосіб отримання термостабільних начинок з фруктового повидла / Червко О. І., Євлаш В. В., Чуйко Л. О., Дуденко Н. В., Павлоцька Л. Ф., Акмен В. О., Старчаєнко О. Т.; Харк. держ. ун-т харч. та торг. № u200810260; заявл. 11. 08.2008 опубл. 26. 02. 2009, Бюл. № 2. 2 с.

193. Пат. 38921 Україна, МПК А23G 3/00. Спосіб отримання термостабільних начинок з овочів та повидла з гарбуза, збагчених на гемове залізо / Червко О. І., Євлаш В. В., Чуйко Л. О., Дуденко Н. В., Павлоцька Л. Ф., Акмен В. О., Старчаєнко О. Т.; Харк. держ. ун-т харч. та торг. № u200810264; заявл. 11. 08. 2008; опубл. 26. 01. 2009, Бюл. № 2. 2 с.

194. Пат. 39326 Україна, МПК А23G 3/00. Спосіб отримання термостабільних начинок з яблучного повидла та сухофруктів / Червко О. І., Євлаш В. В., Чуйко Л. О., Дуденко Н. В., Павлоцька Л. Ф., Акмен В. О., Старчаєнко О. Т.; Харк. держ. ун-т харч. та торг. – № u200810257; заявл. 11.08.2008; опубл. 25. 02. 2009, Бюл. № 4. 3 с.

195. Пат. 45798 А Україна, МПК G 01 N 24/00. Спосіб визначення кількості вологи у харчових продуктах /Торяник О. І., Дьяков О. Г.; Харк. держ. акад. техн. та орган. харч.– № 2001074759; заявл. 09.07.2001; опубл. 15.04.2002; Бюл. № 4.

196. Пат. 70553 Україна, МПК А23L1/06, А23L1/05, А23L1/0524, А23L1/0526, А23G3/34, А23G3/36. Склад желевної термостабільної начинки / Корецька І. Л., Кір'якова Г. А.; Нац. ун-т харч. техн. № 20031211173; заявл. 08. 12. 2003; опубл. 15. 10.2004, Бюл. № 10 3с.

197. Пат. 70554 Україна, МПК А23G3/00, А23L1/0524, А23L1/0526. Спосіб виробництва желевної термостабільної начинки / Корецька І. Л., Кір'якова Г. А.; Нац. ун-т харч. техн. № 20031211174; заявл. 08.12.2003; опубл. 15.10.2004, Бюл. № 10 3с.

198. Пат. 73798 Україна, МПК А23L1/00. Термостабільна начинка для борошняних кондитерських виробів / Оболкіна В.І., Йовбак У.С.,

Камбулова Ю.В., Крапивницька І.О.; Нац. ун-т харч. техн. № u201203118; заявл. 10.03.2012; опубл. 10.10.2012, Бюл. № 19. 5с.

199. Реологічні методи дослідження сировини і харчових продуктів та автоматизація розрахунків реологічних характеристик : навч. посібник / [А. Б. Горальчук та ін.]. Х. : ХДУХТ, 2006. 63 с.

200. Системи управління безпечністю харчових продуктів : ДСТУ 4161. [Чинний від 2003-07-01]. К. : Держспоживстандарт, 2003. 18 с.

201. Achayuthakan P. Pasting and rheological properties of waxy corn starch as affected by guar gum and xanthan gum / P. Achayuthakan, M. Supphantharika // Carbohydrate Polymers. 2008. № 71. P. 9 – 17

202. Allen K. W. In Aspects of Adhesion / K. W. Allen, D. J. Alner. London : Univ. of London Press, 1969. 11 p.

203. Analysis of changes the stare of water in thermoduric milk-containing filling / G. Lyubenco, M. Pohogih, A. Pak, A. Dyakov, M. Obozna, F. Pertsevoy // French journal of Scientific and Educational Research. 2014. № 2 (12). P. 142 – 151.

204. Analysis of Major Constituents in Seed Cells of Aquilaria sinensis / Da-Huang Chen, Pei-Luen Jiang, Tzyy-Rong Jinn at all. //Journal of Food and Nutrition Research. 2014. Vol. 2. № 1. P. 34 – 39.

205. Anderson N. S. Evidens for a common stryctural pattern in the polysaccharide sulphates / N. S. Anderson N. C. S. Dolan, D. A. Rees // Rhodophyuae II Nature. London. 1965. Vol. 205 P. 1060 – 1062

206. Aустарheim I. Chemical and biological characterization of pectin-like polysaccharides from the bark / I. Aустарheim B. E. Christensen, I.K. Hegna // Malian medicinal tree Cola cordifolia, Carbohydrate polymers. 2012. Vol. 89. P. 259 – 268.

207. Baek M. H. Effects of sugars and sugar alcohols on thermal transition and cold stability of corn starch gel / M. H. Baek, B. Yoo, S. T. Lim // *Food Hydrocolloids*. 2004. № 18. P. 133 – 142
208. Bligh E. J. A rapid method of total lipid extraction and purification / E. J. Bligh, W. I. Dyer // *Canadian journal of biochemistry and physiology*– 1959. – Vol. 37, № 8. P. 911 – 917.
209. Blumich B. NMR at lowmagnetic fields. / B. Blumich, F. Casanova, S. Appelt // *Chemical Physics Letters*. 2009. № 477. P. 231–240.
210. *Carbohydrate Chemistry for Food Scientists* / ed. Roy L. Whistler and James N. BeMiller. USA: Eagan Press, 1997.
211. Comparisons between conventional, microwave- and ultrasound-assisted methods for extraction of pectin from grapefruit / H. Bagherian, F. Ashtiani, A. Fouladitajar, M. Mohtashamy // *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*. 2011. № 50 (11-12). P. 1237 – 1243.
212. Daud Z. Pectin show antibacterial activity against / Z. Daud, M. Sura, R. Abdel-Massih // *Advances in Bioscience and Biotechnology*. 2013. № 4. P. 273 – 277.
213. Different action patterns for apple pectin methylesterase at pH 7.0 and 4.5 / [J.-M. Denes, A. Baron, C. M. Renard et al] // *Carbohydrate Research*. 2000. – Vol. 327. 385 393.
214. Dickinson E. Hydrocolloids as emulsifiers and the influence on the properties of dispersed systems / E. Dickinson // *Food hydrocolloids*. 2003. Vol. 17. P. 25 – 39.
215. Eddy C. V. Near-infrared spectroscopy for Measuring Urea in Hemodialysis Fluids / C. V. Eddy, M. A. Arnold. // *Clinical Chemistry*. 2001. № 47. P. 1279 – 1286.
216. Edwards B. Products and applications for emulsifying and gelling agents / B. Edwards // *Confections*. 1998. P. 26 – 28.

217. Enzymatic modification of pectin in ca-pectic gels / [A. Slavov, E. Bonnin, C. Garnier et al.] // Bulgaria scientific papers. 2008. Vol. 36, № 5. P. 75 – 82.
218. Erlander S. R. Starch biosynthesis. II. The statistical model for amylopectin and its precursor plant glycogen / S. R. Erlander // Starch / Starker. 1998. № 50. P.62 – 67.
219. Food Additive User's Handbook. Canada: Edited Professional 1996.
220. Fu J.-T. Rheology and structure development during gelation of low-methoxyl pectin gels: the effect of sucrose / J.-T. Fu // Food Hydrocoll. 2001 Vol. 15. P. 93 – 100.
221. Haghghi M. General analytical schemes for the characterization of pectin-based edible gelled systems / M. Haghghi, K. Rezaei // The Scientific World Journal. 2012.
222. Hudson B. J. F. New and developing sources of food proteins / B. J. F. Hudson. London : Springer, 1994. 369 p.
223. Gordon A. Towle Otto Christensen. Industrial Gums. Polysaccharides and Their Derivatives / A. Gordon // New York and London: Academic Press. 1973. P. 146 – 152.
224. Guerra M. J. Extraction of sesame seed protein and determination of its molecular weight by sodium dodecylsulfate polyacrylamide gel electrophoresis/ M. J. Guerra, Y. K. Park // Journal of the American Oil Chemists Society. 1975. Volume 52. Issue 3. P. 73-75.
225. Kastner H. Structure formation in sugar containing pectin gels – influence of Ca^{2+} on the gelation of low-methoxylated pectin at acidic pH / H. Kastner, U. Einhorn-Stoll, B. Senge // Food Hydrocoll. 2012. Vol. 27. P. 42 – 49.
226. Kim C. Rheological properties of rice starch-xanthan gum mixtures / C. Kim, B. Yoo // Journal of Food Engineering. 2006. № 75. P. 120 – 128

227. Kirby A. R. Atomic force microscopy of tomato and sugar beet pectin molecules / A. R. Kirby, A. J. MacDougal, V. J. Morris // *Carbohydr. Polym.* 2008. Vol. 71. P. 640-647.
228. Koh P. C. Microwave-assisted extraction of pectin from jackfruit rinds using different power levels / P. C. Koh, C. M. Leong, M. A. Noranizan // *International Food Research Journal*. 2014. № 21 (5). P. 2091–2097.
229. Kohn R. Ion binding on polyuronates-alginate-pectin / R. Kohn // *Pure and Appl. Chem.* 1995. Vol. 52.
230. Kohn R. Binding of lead cations to oligogalacturonic acids / R. Kohn // *Collect. Czech. Chem. Comm.* 1982. Vol. 47.
231. Laemmli U. K. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4 / U. K. Laemmli // *Nature*. 1970. Vol. 227. P. 680–685.
232. Luzio G. A. Determination of galacturonic acid content of pectin using a microtiter plate assay / G.A. Luzio // *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 2004. Vol. 117. P. 416-421.
233. Malovikova A. Binding cadmium cations to pectin / A. Malovikova, R. Kohn // *Collect. Czech. Chem. Comm.* 1982. Vol. 47.
234. Matia-Merino L. Effects of low-methoxyl amidated pectin and ionic calcium on rheology and microstructure of acid-induced sodium caseinate gels. / L. Matia-Merino, K. Lau, E. Dickinson // *Food Hydrocolloids*. 2004. Vol. 18, № 2. P. 271–281.
235. Michel C. Extraction of pectines from sugar beet pulp / C. Michel, C. Mercier // *J. Food Sci.* 1995. Vol. 145.
236. Mikus L. Usage of hydrocolloids in cereal technology/ L. Mikus, L. Valik, L. Dodok // *Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun.* 2011. Vol. LIX., № 5. P. 325-334.

237. Novel hydrocolloids: preparation & applications – a review. / [M. Kapoor, D. Khandal, G. Seshadri et al.] // Novel hydrocolloids IJRRAS. 2013. Vol 16 (3). P. 432 – 482.
238. O'Brien A. B. Gelation of high-methoxy pectin by enzymic de-esterification in the presence of calcium ions: a preliminary evaluation / A. B. O'Brien, K. Philp, E. R. Morris // Carbohydrate Research. 2009. Vol. 344, № 14. P. 1818 – 1823.
239. Pangler K. Texturing of gum and gel articles using classic apple pectin / K. Pangler // Food Market and Technol. 1993. № 4. P. 22 – 28.
240. Parker R. Aspects of the Physical Chemistry of starch / R. Parker, S. Ring // Journal of Cereal Science. 2001. Vol. 34. P. 1 – 17.
241. Partially esterified oligogalacturonides are the preferred substrates for pectin methylesterase of aspergillus niger / [Alebeek G.-J. W. M., van Scherpenzeel K., Beldman G. et al] // Biochemistry Journal. 2003. Vol. 372. P. 211-218.
242. Paulsen B. S. Bioactive pectic polysaccharides / B. S. Paulsen, H. Barsett // Adv. Polym. Sci. 2005. № 186. P. 69 – 101.
243. Pectin: cell biology and prospects for functional analysis / W. G. T. Willats, L. McCartney, W. Mackie, J. P. Knox // Plant Mol Biol. 2001. Vol. 47. P. 9 – 27.
244. Pectins and pectinases / H. A. Shols, R. G. F. Visser, A. G. J. Voragen // Wageningen: Wageningen Academic Publishers. 2009. Pt. 5. P. 293 – 325.
245. Pertsevov F. Technology specifics of heat-resistant milk contain stuffing that was frozen / F. Pertsevov, M. Obozna, G. Lyubenco // Ukrainian Food Journal. – 2014. Vol. 3, Issue 4. P. 550 – 559.
246. Ptaszek P. Viscoelastic properties of maize starch and guar gum gels / P. Ptaszek, M. Grzeslik // Journal of Food Engineering. 2007. № 82. P. 227 – 237.
247. Raini A. P. Low methoxyl pectins from lime peel / A. P. Raini, S. Ranganna // J. Food. Technol. 1979. Vol. 14. P. 332 – 342.

248. Rees D. A. Conformation analysis of polysaccharides / D. A. Rees // V. I. Chem. Soc. B. 1970. № 5. 877p.
249. Rees D. A. Mechanism of the formation of polysaccharide gels and networks / D. A. Rees // Adv. Carbohydr. Chem. and Biochem. 1969. Vol. 24. 267p.
250. Rees D. A. Structure conformation and mechanism in the formation of polysaccharide gels and networks / D. A. Rees // Advances in Carbohydrate Chemistry and Biochemistry. New York, 1969. Vol. 24. P. 267 – 332.
251. Relation between Rheological Properties of Pectin Gels and Pectin Fine Structure / [A. Strom, L. Lundin, E. Morris et al.] // Annual transactions of the nordic rheology society. 2012. № 20 P. 159 – 166.
252. Renard D. The gap between food gel structure, texture and perception / D. Renard, F. Van De Velde, R. W. Visschers // Food Hydrocolloids. 2006. Vol. 20, № 4. P. 423 – 431.
253. Rheological and macromolecular quality of pectin extracted with nitric acid from passion fruit rind / [M. H. Canteri, A. P. Scheer, C. Ginies et al.] // Journal of Food Process Engineering. 2012. № 35 (5). P. 800 – 809.
254. Ridley B. L. Pectins: Structure, biosynthesis, and oligogalacturonide-related signaling / B. L. Ridley, M. A. O'Neil, D. A. Mohnen // Phytochemistry. 2001. № 57 (6). P. 929 – 967.
255. Rinzler C. A. The new complete book of food: a nutritional, medical, and culinary guide / C. A. Rinzler, M. Kroger, J. E. Brody. New York : Infobase Publishing, 2009. 474 p.
256. Rose D. Nomenclature of the proteins of cow's milk. 3 revision / D. Rose, J. R. Brunner, E. B. Kalan // J. Dairy Sci. 1970. Vol. 53. P. 1.
257. Sajilata M. G. Resistant starch – a review / M. G. Sajilata R. S. Singhal, P.R. Kulkarni // Comprehensive reviews in food science and food safety. 2006. Vol. 5, Issue 1. P. 1 – 17

258. Slade L. Review – water and glass transition – dependence of the glass transition on composition and chemical structure – Special implication for flour functionality in cookie baking / L. Slade, H. Lavine // *J. of Food Engineering*. 1995. № 24. P.431 – 509.
259. Souheng W. *Polymer Interface and Adhesion* / W. Souheng. – New York and Bael : Marcel Dekker, Inc., 1982. 337 p.
260. Srikaeo K. Effects of sugarcane, palm sugar, coconut sugar and sorbitol on starch digestibility and physicochemical properties of wheat based foods / K. Srikaeo, R. Thongta // *International Food Research Journal*. 2015. № 22 (3) P. 923-929.
261. The relationship between thermodynamic and structural properties of low and high amylose maize starches / [Matveev Y. I., Nieman C., Wasserman L. A. Et al.] // *Carbohydrate Polymers*. 2001. № 44. p.151 – 160.
262. *Thickening and Gelling Agents for Food* / Ed. by Alan Imeson // Blackie Academic & Professional, UK. 1994.
263. Thompson M. P. Nomenclature of proteins of cow's milk. 2 revision / M. P. Thompson, N. P. Tarassuk, R. Jennes // *J. Dairy Sci*. 1965. Vol. 48. P. 159.
264. Yada R. Y. *Proteins in food processing* / R. Y. Yada // Abington : Woodhead publishing. 2004.
265. T.B. Gold, R.G. Buice Jr., R.A. Lodder, G.A. Digenis, Determination of extent of formaldehyde-induced crosslinking in hard gelatin capsules by near-infrared spectrophotometry, *Pharm. Res.* 14 (8) (1997) 1046–1050. <https://doi.org/10.1023/a:1012105412735>
266. Y. Shimokawa, E. Hayakawa, K. Takahashi, K. Okai, Y. Hattori, M. Otsuka, Pharmaceutical formulation analysis of a gelatin-based soft capsule film sheet containing phytic acid using near-infrared spectroscopy, *J. Drug Del. Sci. Tech.* 53 (2019) 101126. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2019.101126>
267. M. Belay, S. Tyeb, K. Rathore, et al., Synergistic effect of bacterial cellulose reinforcement and succinic acid crosslinking on the properties of agar, *Int.*

J. Biol. Macromol. 165 (2018) 3115-3122.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.10.144>

268. H. Chen, F. Chen, Q. Xiao, M. Cai, Q. Yang, H. Weng, A. Xiao, Structure and physicochemical properties of amphiphilic agar modified with octenyl succinic anhydride, *Carbohydr. Polym.* 251 (2021) 117031.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117031>

269. F. Pertsevoi, E. Koshel, S. Sabadash, M. Mashkin, V. Mohutova, V. Volokh, Development of technology for preparing the thermostable milk-containing filling and study of infrared spectra of its components (October 30, 2020). *East.-Eur. J. Enterp. Technol.* 5 (2020) 25-31. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.214903>

270. O. Anjos, M. G. Campos, P. C. Ruiz, P. Antunes, Application of FTIR-ATR spectroscopy to the quantification of sugar in honey, *Food Chem.* 169 (2015) 218–223. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.138>

271. T. Gallardo-Velazquez, G. Osorio-Revilla, M. Z. de Loa, Y. Rivera-Espinoza, Application of FTIR-HATR spectroscopy and multivariate analysis to the quantification of adulterants in Mexican honeys, *Food Res. Int.* 42(3) (2009) 313–318. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2008.11.010>

272. J. Tewarii, J. Irudayaraj, Quantification of saccharides in multiple floral honeys using fourier transform infrared microattenuated total reflectance, *J. Agric. Food Chem.* 52 (2004) 3237–3243. <https://doi.org/10.1021/jf035176%2B>

273. J. Wang, M. M. Kliks, S. Jun, M. Jackson, Q. X. Li, Rapid analysis of glucose, fructose, sucrose, and maltose in honeys from different geographic regions using fourier transform infrared spectroscopy and multivariate analysis, *J. Food Sci.* 75(2) (2010) 208–214. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01504.x>

274. V.H. Segtnan, K. Kvaal, E.O. Rukke, R.B. Schu'ller, T. Isaksson, Rapid assessment of physico-chemical properties of gelatine using near infrared spectroscopy, *Food Hydrocoll.* 17 (2003) 585–592. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(02\)00099-1](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(02)00099-1)

275. D. M. Hashim, Y. B. C. Man, R. Norakasha, M. Shuhaimi, Y. Salmah, Z. A. Syahariza, Potential use of Fourier transform infrared spectroscopy for differentiation of bovine and porcine gelatins, *Food Chem.* 118(3) (2010) 856–860. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.05.049>
276. L. N. Lisetski, Y. N. Makarovskaya, V. D. Panikarskaya, L. P. Eksper-iandova, Studies of phase transformations in the gelatine–water system using near-IR spectroscopy, *Colloid Polym. Sci.* 279 (2001) 283 – 285. <https://doi.org/10.1007/s003960000443>
277. J. Tarkosova, J. Copikova, Fourier transform near infrared spectroscopy applied to analysis of chocolate, *J. Near Infrared Spectrosc.* 8 (2000) 251 – 257. <https://doi.org/10.1255/jnirs.285>
278. G. O. Phillips, P. A. Williams. *Handbook of Hydrocolloids*. Second Edition, (2009)
279. E. A. Elhefian, M. Nasef, A. Yahaya, Preparation and Characterization of Chitosan/Agar Blended Films: Part 1. Chemical Structure and Morphology, *J. Chem.* 9(3) (2012) 1431–1439 <https://doi.org/10.1155/2012/781206>
280. C. Rochas, M. Lahaye, W. Yaphe, Sulfate content of carrageenan and agar determined by infrared spectroscopy, *Bot. Mar.* 29 (1986) 335-340. <https://doi.org/10.1515/botm.1986.29.4.335>
281. X. Wei, K. Liu, Y. Zhang, Q. Feng, L. Wang, Y. Zhao, D. Li, Q. Zhao, X. Zhu, X. Zhu, W. Li, D. Fan, Y. Gao, Y. Lu, X. Zhang, X. Tang, C. Zhou, C. Zhu, L. Liu, R. Zhong, Q. Tian, Z. Wen, Q. Weng, B. Han, X. Huang, X. Zhang, Genetic discovery for oil production and quality in sesame, *Nat. Commun.* 6 (2015) 8609. <https://doi.org/10.1038/ncomms9609>
282. N. Pathak, A.K. Rai, S. Saha, S. Walia, S.K. Sen, K.V. Bhat, Quantitative dissection of antioxidative bioactive components in cultivated and wild sesame germplasm reveals potentially exploitable wide genetic variability, *J. Crop Sci. Biotechnol.* 17 (2014). 127-139. <https://doi.org/10.1007/s12892-013-0112-8>

283. Gawkowska, D., Cybulska, J., Zdunek, A. (2018). Structure-related gelling of pectins and linking with other natural compounds: A review. *Polymers*, 10(7), Article 762 <https://doi.org/10.3390/polym10070762>
284. Funami, T. (2010). Functions of food polysaccharides to control the gelatinization and retrogradation behaviors of starch in an aqueous system in relation to the macromolecular characteristics of food polysaccharides. *Food Science and Technology Research*, 15(6), 557-568. <https://doi.org/10.3136/fstr.15.557>
285. Tabatorovich, A.N., Reznichenko, I. Yu. (2019). Substantiation of formulations and quality assessment of jelly marmalade based on infusion of rosella petals (*Hibiscus Sabdariffa* L.). *Food industry*, 5, 66-71. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10075> V. Poharska, "Study of cryomechanical destruction and mechanochemistry processes in the development of nanotechnology of frozen carotenoid plant additives," *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 84, pp. 39-46, 2016)
286. Ch. Galanakis, "Innovation Strategies in the Food Industry," 1st ed., Academic Press, (2016)
287. Tabatorovich, A.N., Stepanova, Ye.N., Bakaytis, V.I. (2018). Analysis of the chemical composition and quality indicators of unconventional fruit puree-semi-finished products. *Food industry*, 8, 25-29
288. W. Mikasari, "Pengkajian Peningkatan Nilai Tambah Buah Jeruk Spesifik Bengkulu." Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Bengkulu, Bengkulu, 2015.
289. [https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169409X07001354#:~:text=2.,proteins%20mediated%20by%20transglutaminase%20\(TGase\)&text=TGase%20catalyzes%20an%20acyl%20transfer,group%20of%20lysine%20%5B46%5D](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169409X07001354#:~:text=2.,proteins%20mediated%20by%20transglutaminase%20(TGase)&text=TGase%20catalyzes%20an%20acyl%20transfer,group%20of%20lysine%20%5B46%5D).

290. A. Inam, M. Hossain, A. Siddiqui, and M. Easani, "Studies on the Development of Mixed Fruit Marmalade," *J. Environ. Sci. Nat. Resour.*, vol. 5, no. 2, pp. 315–322, 2013, doi: 10.3329/jesnr.v5i2.14836.
291. C. E. Tamer, "A research on raspberry and blackberry marmalades produced from different cultivars," *J. Food Process. Preserv.*, vol. 36, no. 1, pp. 74–80, 2012, doi: 10.1111/j.1745-4549.2011.00573.x.
292. F. Rashid et al., "Physico-Chemical and Sensory Properties of Orange Marmalade Supplemented With Aloe Vera Powder," *J. Agric. Res.*, no. 4, p. 52, 2014, doi: 10.13140/RG.2.2.20795.36644.
293. Panchev, I. N., Slavov, A., Nikolova, K., Kovacheva, D. (2010). On the water-sorption properties of pectin. *Food Hydrocolloids*, 24(8), 763-769. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.04.002>.
294. Yuzhakova, K.V., Savenkova, T.V., Taleysnik, M.A. (2018). Technologic processes of the confectionery mass formation when marmalade production. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*, 1, 57-59.
295. Einhorn-Stoll, U. (2018). Pectin-water interactions in foods - from powder to gel. *Food Hydrocolloids*, 78, 109-119. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.05.029>
296. Guan, L., Xu, H., Huang, D. (2011). The investigation on states of water in different hydrophilic polymers by DSC and FTIR. *Journal of Polymer Research*, 18(4), 681-689. <https://doi.org/10.1007/s10965-010-9464-7>
297. Abasi, S., Podstawczyk, D. A., Sherback, A. F., Guiseppi-Elie, A. (2019). Bio-technical properties of poly(HEMA-co-HPMA) hydrogels are governed by distribution among water states. *ACS Biomaterials Science and Engineering*, 5(10), 4994-5004. <https://doi.org/10.1021/acsbiomaterials.9b00705>.
298. R. Pavliuk, "New about carotenoids and oxidative enzymes of carotenoid vegetables during cryogenic «shock» freezing and grinding," *Advanced techniques and technologies of food production, restaurant business and trade*, No. 1, pp. 52-60

299. Walstra P. Dairy science and technology. / P. Walstra, J. T. M. Wouters, T. J. Geurts // Marcel: CRC, Taylor & Francis. 2006.
300. Whitney R. M. Nomenclature of the proteins of cow's milk. 4 revision / R. M. Whitney, J. R. Brunner, K. E. Ebner // J. Dairy Sci. 1976. Vol. 59. P. 795.
301. https://www.researchgate.net/publication/248424882_Influence_of_transglutaminase_treatment_on_the_thermoreversible_gelation_of_gelatin
302. https://www.centropiaggio.unipi.it/sites/default/files/course/material/2019.03.08-articolo_1.pdf
303. <https://patents.google.com/patent/US5834232A/en>
304. Интернет-портал «Prom.Ua». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://prom.ua>
305. <https://www.nature.com/articles/198188a0>
306. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5654420/>
307. I. Syazin, G. Kasyanov, Food technology, 4, 123- 124 (2012)
308. M. Ahmedov, G. Kasyanov, A. Ramazanov, Z. Yaraliev, “Innovative technologies for the production of fruit and vegetable cryopowders,” Abstract journal “Food and processing industry”, No. 3, pp. 135-149
309. R. Pavlyuk, V. Pogarskaya, V. Pavlyuk, A. Berestova, N. Maksimova, Cryomechanochemistry in food nanotechnology, monograph, (2015)
310. R. Pavliuk, “New about carotenoids and oxidative enzymes of carotenoid vegetables during cryogenic «shock» freezing and grinding,” Advanced techniques and technologies of food production, restaurant business and trade, No. 1, pp. 52-60
311. Phillips, G., & Williams, P. (2009). Handbook of Hydrocolloids (2nd ed.). Elsevier Science. Retrieved from <https://www.perlego.com/book/1814224/handbook-of-hydrocolloids-pdf> (Original work published 2009)
312. Alimova, M.A., Musulmanova, M.M., Urazbayeva, K.A., Alibekov, R.S., Usenova, S.O. and Abzalov, R.F. (2014). Standardization of fruit and vegetable

raw materials in a multi-component functional filling for caramel. Herald of Kazan Technological University, 17(14), 411-413.

313. Maimanah-Faizah, I., Ismail-Fitry, M.R., Umi Hartina, M.R. and Rozzamri, A. (2020). Physicochemical and sensory properties of traditional baked cake (kuih bakar) with coconut milk and soy milk. Food Research, 4(5), 1435 – 1443. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.4\(5\).068](https://doi.org/10.26656/fr.2017.4(5).068)

314. Milani, J. Hydrocolloids in Food Industry [Текст] / J. Milani, G. Maleki // Food Industrial Processes – Methods and Equipment. – 2012. – №2. – С. 2–37.

315. Krala, L. The effect of hydrocolloid mixtures on frozen pork properties [Текст] / L. Krala, M. Dziomdziora // Polish Journal of Food and Nutrition Sciences. – 2003. – Vol. 12 / 53. - № 4. – С. 55–58.

316. Nishinari, K. Structure and Properties of Food Hydrocolloids - Gels, Emulsions and Foams [Текст] / K. Nishinari // Foods Food Ingredients J. Jpn. – 2008. – Vol. 213. – № 5 – С. 138–141.

317. Renzetti, S. Microstructure, fundamental rheology and baking characteristics of batters and breads from different gluten-free flours treated with a microbial transglutaminase [Text] / S. Renzetti, F. Dal Bello, E. K. Arendt // Journal of Cereal Science. - 2008. - Vol. 48, № 1. - P. 33-45. doi:10.1016/j.jcs.2007.07.011.

318. Bauer, N. Studies on Effects of Microbial Transglutaminase on Gluten Proteins of Wheat. I. Biochemical Analysis [Text] / N. Bauer, P. Koehler, H. Wieser, P. Schieberle // Cereal Chemistry. - 2003. - Vol. 80, № 6. - P. 781-786. doi:10.1094/cchem.2003.80.6.781.

319. Roozendaal H., Abu-hardan M., Frazier R.A. (2012). Thermogravimetric analysis of water release from wheat flour and wheat bran suspensions. Journal of Food Engineering, 111, 606-611. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2012.03.009.

320. Kumar M., Sabbarwal Sh., Mishra P. K., Upadhyay S. N. (2019). Thermal degradation kinetics of sugarcane leaves (*Saccharum officinarum* L) using

thermo-gravimetric and differential scanning calorimetric studies. *Bioresource Technology*, 279, 262-270. DOI:10.1016/j.biortech.2019.01.137.

321. Shadangi K. P., Mohanty K. (2014). Kinetic study and thermal analysis of the pyrolysis of non-edible oilseed powders by thermogravimetric and differential scanning calorimetric analysis. *Renewable Energy*, 63, 337-344. DOI:10.1016/j.renene.2013.09.039.

322. Beck M., Jekle M., Selmair P. L., Koehler P., Becker T. (2011). *Rheological properties and baking performance of rye doughs affected by transglutaminase*. *Journal of Cereal Science*, 54, Issue 1, 29-36. DOI:10.1016/j.jcs.2011.01.012.

323. Shadangi K. P., Mohanty K. (2014). Kinetic study and thermal analysis of the pyrolysis of non-edible oilseed powders by thermogravimetric and differential scanning calorimetric analysis. *Renewable Energy*, Vol: 63, Page: 337-344. DOI:10.1016/j.renene.2013.09.039

324. Ablett, S. Water in foods / S. Ablett, P. Lillford // *Chemistry in Britain*. – 1991. – № 27. – P. 1024–1026.

Для нотаток

Наукове видання

БОКОВЕЦЬ Сергій Петрович
ГРИНЧЕНКО Ольга Олексіївна
СМЕТАНСЬКА Ірина Миколаївна
ОМЕЛЬЧЕНКО Світлана Борисівна
ПЕРЦЕВОЙ Федір Всеволодович

**ТЕХНОЛОГІЯ БАТОНЧИКІВ ЖЕЛІЙНИХ
З ВИКОРИСТАННЯМ МЕДУ, БОРОШНА
КУНЖУТНОГО ТА СТРУКТУРОУТВОРЮВАЧІВ
ПОЛІСАХАРИДНОЇ ПРИРОДИ**

Монографія

Під редакцією *Перцевого Ф. В.*

Видається в авторській редакції

Підписано до друку 15.01.2024.
Формат 60×84 $\frac{1}{16}$, Папір офсетний. Гарнітура Times.
Обл.-вид. арк. 7,5. Ум. друк. арк. 10,8.
Тираж 300 прим.

Надруковано у друкарні ТОВ «Діса+»
61111, Харків, шосе Салтівське буд.154
Тел. (057)768-03-15, e-mail: disadruk@gmail.com
Свід.суб.вид.справи ДК № 4047 від 15.04.2011

Адреса виробництва:
61000 Харків, Ващенковський в'їзд, 16