

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

КОРКАЧ ГАННА ВОЛОДИМИРІВНА



УДК [664.144/.149 +664.68]:613.292-021.632:[579.864+579.873]

**НАУКОВО-ПРАКТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА
РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ КОНДИТЕРСЬКИХ ВИРОБІВ
З СИНБІОТИКАМИ**

Спеціальність 05.18.01 – технологія хлібопекарських продуктів,
кондитерських виробів та харчових концентратів

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Одеса – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Одеській національній академії харчових технологій
Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант – доктор технічних наук, професор,
Іоргачова Катерина Георгіївна,
Одеська національна академія харчових технологій,
кафедра технології хліба, кондитерських, макаронних
виробів і харчоконцентратів, завідувач кафедри.

Офіційні опоненти: – доктор технічних наук, доцент
Камбулова Юлія Вікторівна,
Національний університет харчових технологій,
кафедра технології хлібопекарських і
кондитерських виробів, професор кафедри;

– доктор технічних наук, професор
Перцевой Федір Всеволодович,
Сумський національний аграрний університет
кафедра технології харчування,
завідувач кафедри;

– доктор медичних наук, професор
Корзун Віталій Наумович,
ДУ «Інститут громадського здоров'я
ім. О.М. Марзєєва» НАМН України,
головний науковий співробітник.

Захист відбудеться *11 травня 2021 р. о 10⁰⁰ годині* на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.088.01 Одеської національної академії харчових технологій за адресою: 65039, м. Одеса, вул. Канатна, 112, ауд. А-234.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Одеської національної академії харчових технологій за адресою: 65039, м. Одеса, вул. Канатна, 112.

Автореферат розіслано *9 квітня 2021 року*.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
к.т.н., доцент



Т. І. Нікітчина

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Останніми роками в Україні спостерігається значне погіршення здоров'я населення. До хвороб «цивілізації» приєдналися захворювання шлунково-кишкового тракту. Майже 90 % населення України страждає на дисбактеріоз тою чи тою мірою вираженості, тому ця проблема привертає пильну увагу багатьох учених. Однією з причин поширення дисбіозів є значне гіршання екологічної ситуації на планеті: підвищився радіаційний фон, зросли рівні забруднення повітря, води, ґрунту, продуктів харчування шкідливими хімічними сполуками, радіонуклідами; зафіксовано широке застосування анти-мікробних, протипухлинних препаратів. Внаслідок дії усіх цих факторів, що перевищують компенсаторні можливості екологічної системи «організм господаря і його мікрофлора», в організмі людини відбуваються різні мікроекологічні та імунні порушення.

Профілактика і лікування дисбактеріозів пов'язані з відновленням нормальної мікрофлори кишечника фармакопейними препаратами, біологічно активними добавками, функціональними харчовими продуктами, що містять пробіотики, пребіотики і синбіотики. Однак живі клітини мікроорганізмів (лакто- і біфідобактерії) мають природні обмеження щодо життєздатності у зв'язку з їх чутливістю до деяких технологічних і фізіологічних факторів, а саме: високої температури технологічного процесу, механічного впливу обладнання, низького значення рН харчової маси та середовища шлунку людини, впливу ферментної системи шлунку і тонкого кишечника, високої концентрації цукру, дії кисню, тому для використання мікроорганізмів у технології кондитерських виробів і надання фізіологічного ефекту необхідно їх «захистити» від несприятливих факторів. Одним із перспективних способів є мікрокапсулювання, яке інтенсивно розвивається, широко використовується у харчовій промисловості і є потужним інструментом для надання харчовим продуктам функціональних властивостей.

Теоретичні і практичні основи в галузі створення кондитерських виробів функціональної спрямованості закладено у працях вітчизняних і зарубіжних учених, як-то: Дорохович А.М., Дорохович В.В., Зубченко А.В., Іоргачова К.Г., Калакура М.М., Камбулова Ю.В., Капрельянц Л.В., Карнаушенко Л.І., Корзун В.Н., Корячкіна С.Я., Лисюк Г.М., Магомедов Г.О., Оболкіна В.І., Перцевой Ф.В., Пивоваров П.П., Сирохман І.В., Сініцин А.П., Скобельська З.Г., Черно Н.К., Шатнюк Л.М., Carroll K., Fu N., Genesi J., Messina M., Potter S., Rovinaru C., Setchell K., Shori A.V., Tsen C та ін.

Кондитерські вироби (КВ) становлять велику групу висококалорійних харчових продуктів досить різноманітного асортименту з унікальними смаковими якостями. Але поряд із цим у них є істотний недолік, оскільки вони є джерелом легкодоступних вуглеводів, жирів і мають низьку фізіологічну цінність. Отже, одним із завдань, які стоять перед кондитерською галуззю, є розширення асортименту виробів підвищеної харчової і зниженої енергетичної цінності, покращення їхніх фізіологічних властивостей. Крім того, бракує досліджень і розробок, спрямованих на випуск кондитерських виробів, які б сприяли нормалізації мікрофлори кишечника людини.

У зв'язку з цим є актуальним розроблення теоретичного підґрунтя і технологічних рішень для створення синбіотичних комплексів, які складаються із мікрокапсульованих пробіотиків (синбіотиків) і пребіотиків, і використання їх у технології кондитерських виробів для зниження цукро- і жировмісту та надання їм фізіологічних властивостей.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження виконано у рамках тематики проблемної науково-дослідної лабораторії Одеської національної академії харчових технологій «Наукові основи регулювання біотехнологічних процесів у борошняних системах» (фундаментальна держбюджетна робота, № держ. реєстрації 0112U000109); «Розробка науково-технологічних рішень для підвищення та стабілізації якості борошняних виробів при зберіганні і розширенні їх асортименту» (прикладна держбюджетна робота, № держ. реєстрації 0115U000291); «Реалізація інноваційно-технологічних засад розробки борошняних виробів тривалого зберігання» (прикладна держбюджетна робота, № держ. реєстрації 0118U000239); науково-дослідної роботи з УкрНДІНанобіотехнологій «Дослідження наукової та методичної бази з питань технології виробництва продуктів харчування для лікувально-профілактичного харчування» і науково-дослідної роботи кафедри технології хліба, кондитерських, макаронних виробів і харчоконцентратів «Розробка науково обґрунтованих та удосконалення традиційних ресурсощадних технологій нового конкурентоздатного асортименту хлібобулочних, кондитерських і макаронних виробів з якісно зміненими функціональними властивостями».

Мета і завдання досліджень. Метою дисертаційної роботи є теоретичне й експериментальне обґрунтування та розроблення науково-технологічних принципів створення синбіотичних комплексів і використання їх у технологіях кондитерських виробів для надання їм функціональної спрямованості.

Для досягнення поставленої мети визначено і послідовно реалізовано такі наукові завдання:

1. Узагальнити результати науково-технічного і патентного пошуку та обґрунтувати вибір про- і пребіотиків для створення синбіотичного комплексу, спосіб для «захисту» клітин бактерій від дії несприятливих чинників для уведення до рецептур кондитерських виробів.

2. На основі узагальнення даних із фізико-хімічних, технологічних, фізіологічних властивостей, особливостей гелетворення та харчової безпеки біополімерів обґрунтувати їх вибір та розробити композицію структуроутворювачів для побудови захисної оболонки (матриці) для живих клітин, визначити механізм їхньої взаємодії під час утворювання гелів.

3. Науково обґрунтувати та розробити технологію одержання мікрокапсул із пробіотиками, встановити ефективність мікрокапсулювання для вищання стресостійкості бактерій в організмі і кінетику їх вивільнення у місцях дислокації та дослідити їхню стійкість у процесі зберігання.

4. Теоретично та практично обґрунтувати вибір кондитерських виробів та синбіотичних комплексів залежно від складу виробів і технологічних особливостей їх виробництва.

5. Науково обґрунтувати склад та раціональну концентрацію синбіотичного комплексу для введення до рецептур помадних цукерок, вивчити його вплив на формування структури помадних мас, установити зміну їхніх реологічних і фізико-хімічних властивостей, дослідити якість та збереженість помадних цукерок протягом терміну зберігання.

6. Визначити закономірності впливу синбіотичних комплексів на структурно-реологічні властивості, процес структуроутворення пастильно-мармеладних мас та якість зефіру й мармеладу.

7. Довести можливість і доцільність використання в технології вафельних виробів, зокрема у жировій начинці, розроблених синбіотичних комплексів для зниження цукро- і жировмісту, обґрунтувати технологічні параметри формування визначених функціонально-технологічних властивостей начинки для одержання готових виробів високої якості.

8. Провести медико-біологічні дослідження нових кондитерських виробів із синбіотиками, оцінити їх безпечність і фізіологічні властивості.

9. Сформулювати методологічні принципи створення технологій кондитерських виробів із синбіотиками, розробити нормативну документацію на асортимент високоцукристих (помадні цукерки), низькоцукристих (зефір, мармелад) виробів і вафельних виробів із синбіотиками, провести їх промислову апробацію і впровадження у виробництво, дати оцінку їхньої економічної та соціальної ефективності.

Концепція роботи полягає у теоретичному обґрунтуванні й практичній реалізації капсулювання пробіотичних мікроорганізмів, створенні на їхній основі синбіотичних комплексів та використанні в технологіях кондитерських виробів для надання їм функціональної спрямованості.

Для виконання поставлених завдань розроблено такі **робочі гіпотези**:

- нормалізація мікрофлори кишечника людей завдяки споживанню кондитерських виробів (КВ) з використанням у їхньому складі синбіотичних комплексів з раціонально дібраним складом про- та пребіотиків;

- підвищення життєздатності живих клітин мікроорганізмів-пробіотиків внаслідок дії несприятливих технологічних і фізіологічних факторів завдяки інкапсуляції у матриці природних матеріалів-біополімерів;

- покращення фізіологічних властивостей КВ для профілактики порушень кишкового мікробіоценозу шляхом використання у їхньому складі синбіотиків, одержаних із мікрокапсульованих пробіотиків та пребіотиків;

- зниження цукро- та жировмісту, покращення збереженості КВ з синбіотиками можливо завдяки технологічним властивостям пребіотиків.

Об'єкти дослідження – мікрокапсулювання; іммобілізація; процеси структуроутворення помадних, зефірних, мармеладних мас та жирової начинки; гелетворення матриці мікрокапсул; темперування.

Предмет дослідження – пробіотики, пребіотики, синбіотики, синбіотичні комплекси, кондитерські маси та кондитерські вироби – помадні цукерки, зефір, мармелад, вафлі.

Методи досліджень – загальноприйняті і спеціальні фізико-хімічні, біохімічні, мікробіологічні, біологічні, органолептичні методи визначення якості си-

ровини, напівфабрикатів і продукції; методи планування експерименту та математичної обробки експериментальних даних.

Наукова новизна отриманих результатів. На підставі узагальнення теоретичних даних та аналізу експериментального матеріалу науково обґрунтовано і розроблено технологію капсулювання пробіотичних мікроорганізмів із використанням полісахаридів (пектину та хітозану) як оболонкоутворювачів, розроблено синбіотичні комплекси та впроваджено їх у технології кондитерських виробів для надання їм функціональної спрямованості.

Вперше:

- науково обґрунтовано та розроблено комбінований спосіб отримання синбіотиків: інкапсуляції пробіотиків завдяки включенню до поліелектролітних мікрокапсул, що полягає в іммобілізації їх у гель та мікрокапсулюванням у матриці природних біополімерів – пектину й хітозану, та створення на їхній основі синбіотичних комплексів;

- експериментально доведено, що матриці на основі інтерполіелектролітних комплексів хітозан-пектин та пектину сприяють спрямованій доставі мікроорганізмів у цільові ділянки кишково-шлункового тракту;

- встановлено умови та доведено ефективність розробленого способу мікрокапсулювання пробіотиків, визначено кінетику їх вивільнення в місцях дислокації та залежність життєздатності капсульованих клітин пробіотичних культур і стійкості синбіотиків від виду матриці і тривалості їх зберігання;

- обґрунтовано технологічні параметри та розроблено технологічну схему виробництва синбіотиків для використання їх в умовах промисловості;

- обґрунтовано технологічні фактори, які мають найбільш істотний вплив на виживаність мікрокапсульованих пробіотиків у виробництві кондитерських виробів, що дає змогу науково обґрунтувати умови використання синбіотиків у певних групах виробів та стадії їх внесення;

- встановлено теоретичні та практичні передумови застосування синбіотичних комплексів для нижчання цукро- та жирівмісту кондитерських виробів; кращання споживчих властивостей з дотриманням їх безпечності, натуральності, відсутності побічних ефектів; для вищання лікувально-профілактичного ефекту;

- науково обґрунтовано параметри технологічних процесів і рецептури кондитерської продукції з використанням синбіотичних комплексів – помадних цукерок, зефіру, мармеладу і жирової начинки для вафель. Встановлено закономірності впливу синбіотичних комплексів на структурно-механічні, фізико-хімічні властивості напівфабрикатів і якісні показники кондитерських виробів з їх використанням, узагальнення яких є підґрунтям для розширення асортименту кондитерських виробів функціональної спрямованості;

- показано позитивний вплив розроблених синбіотичних комплексів на стабілізацію якості помадних цукерок, зефіру, мармеладу, жирових начинок для вафель під час зберігання, доведено ефективність розроблених технологій щодо забезпечення наприкінці терміну зберігання вмісту у виробах життєздатних клітин на фізіологічно активному рівні;

- узагальнено та сформульовано методологічні підходи до створення технологій кондитерських виробів із синбіотичними комплексами;
- на підставі медико-біологічних досліджень доведено антидисбіотичні властивості кондитерських виробів із синбіотичними комплексами.

Удосконалено:

- технології виробництва помадних цукерок, зефіру, мармеладу та вафель із жировими начинками з використанням синбіотичних комплексів.

Набули подальшого розвитку дослідження щодо:

- механізму комплексотворення пектину й хітозану та пектину з полівалентними металами для створення матриць мікрокапсул із пробіотиками;
- технологічних принципів мікрокапсулювання для вищання життєздатності пробіотичних мікроорганізмів унаслідок дії несприятливих факторів;
- залежності структурно-реологічних властивостей кондитерських мас, якості виробів та їхньої зміни у технологічному процесі та зберігання від вугледного складу і жировмісту.

Наукову новизну підтверджено 9 патентами України на корисну модель.

Практичне значення отриманих результатів. На основі наукових досліджень розроблено технологію синбіотиків, рецептури і технології КВ із синбіотичними комплексами функціональної спрямованості:

- високоцукристі помадні цукерки зі зниженим вмістом цукру: «Дует-Н» з лактулозою та мікрокапсульованими лактобактеріями в пектинову матрицю; «Турботливі» з лактулозою та мікрокапсульованими лакто- або біфідобактеріями в пектин-хітозанову матрицю;
- низькоцукристі піноподібні та желейні вироби зі зниженим вмістом цукру: зефір «Корисний» з лактулозою та мікрокапсульованими лакто- або біфідобактеріями в пектинову матрицю; мармелад «Живинка» з лактулозою та мікрокапсульованими біфідобактеріями в пектинову або пектин-хітозанову матрицю;
- борошняні зі зниженим вмістом цукру та жиру із синбіотичними комплексами: вафлі «Фантазія» з лактулозою та мікрокапсульованими біфідобактеріями в пектинову або пектин-хітозанову матриці; вафлі «Гармонія смаку» з лактулозою, інуліном, мікрокапсульованими лакто- та біфідобактеріями в пектинову матрицю; вафлі «Перлінка» з інуліном та мікрокапсульованими біфідобактеріями в пектинову матрицю.

Проведено медико-біологічні дослідження виготовленої за розробленими технологіями продукції у ДУ «Інститут стоматології та щепно-лицевої хірургії НАМН України» з позитивною оцінкою їхніх фізіологічних властивостей, рекомендованих для використання у комплексному лікуванні дисбіотичних станів, що засвідчено в експертних висновках.

На нові види продукції розроблено необхідну нормативну документацію, проведено комплекс заходів щодо впровадження розроблених технологій на підприємствах: ЗАТ «Одесакондитер», ТзОВ «Агробізнес», пекарні «Піщанська», ТОВ «Чарівний каравай».

Особистий внесок здобувача полягає в аналітичному аналізі стану проблеми; формулюванні наукової концепції роботи та її реалізації; розробці та

виконанні програми дослідження; теоретичному обґрунтуванні та практичній розробці технології мікрокапсулювання пробіотичних мікроорганізмів та створенні синбіотичних комплексів на їхній основі; розробленні наукових основ технології кондитерських виробів із синбіотиками; забезпеченні методичного оформлення; формулюванні висновків; підготовці матеріалів до публікації; складанні заявок на винахід та корисні моделі; проведенні заходів щодо впровадження одержаних результатів у виробництво і навчальний процес. За безпосередньою участю здобувача проведено теоретичні та експериментальні дослідження в лабораторних і виробничих умовах, аналіз і узагальнення отриманих результатів, розроблено нормативну документацію, взято участь у виконанні тематик ПНДЛ ОНАХТ як виконавець. Особистий внесок здобувача підтверджено поданими документами і науковими публікаціями.

Ряд досліджень виконано спільно з д.т.н. Капрельянцем Л.В., д.т.н. Крусір Г.В., д.б.н. Левицьким А.П., д.б.н. Макаренко О.А., к.т.н. Єгоровою А.В., ст. інженером Пауліною Я.Б. У сумісних роботах автору належить наукове обґрунтування досліджень, підготовка об'єктів, участь у проведенні та аналіз і обробка одержаних результатів. Обговорення, аналіз та узагальнення результатів досліджень проведено з науковим консультантом.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідалися та обговорювалися на Міжнародних наукових, науково-практичних, науково-технічних, Всеукраїнських науково-практичних конференціях, Інтернет-конференціях «Здобутки та перспективи розвитку кондитерської галузі» (Київ, 2015, 2016, 2019); «Хранителна наука, техника и технологии 2011» (Пловдив, Болгарія, 2011); «Новітні тенденції у харчових технологіях та якість і безпечність продуктів» (Львів, 2012); «Інноваційні технології в харчовій промисловості та ресторанному господарстві» (Харків, 2012); «Управление реологическими свойствами пищевых продуктов» (Москва, 2012); «Проблеми гігієни та технології харчування» (Донецьк, 2012); «Техника и технология пищевых производств» (Могильов, 2013, 2018); «Иновационные направления в пищевых технологиях» (П'ятигорськ, 2013); «Пищевые инновации и биотехнологии» (Кемерово, 2014); «Хімія, біо- та нанотехнології, екологія та економіка в харчовій і косметичній промисловості» (Харків, 2015); «Техника и технология» (Познань, Польща, 2016); «Продовольственная безопасность в контексте новых идей и решений» (Семей, Казахстан, 2017); «Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті Євроінтеграції» (Київ, 2018); «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті» (Київ, 2019); «Харчові технології, хлібопродукти і комбікорми» (Одеса, 2015); «Технології харчових продуктів і комбікормів» (Одеса, 2017); «Технології виробництва і пакування кондитерських виробів» (Київ, 2019); «Виробництво і пакування кондитерських виробів 2019» (Київ, 2019); щорічних наукових конференціях викладачів академії (Одеса, ОНАХТ 2016-2019).

Публікації. За результатами дисертації опубліковано 53 наукові праці, у тому числі 21 стаття, серед яких 4 – у виданні, що входить до міжнародної наукометричної бази даних Scopus, Web of science, 4 – у зарубіжних фахових

виданнях, 13 – у фахових виданнях України; отримано 9 патентів України на корисну модель; тези 23 доповідей на наукових конференціях.

Структура дисертації. Перша частина дисертаційної роботи складається зі вступу, 6 основних розділів, загальних висновків, списку літературних джерел, що містить 686 найменувань, у тому числі 326 іноземних (74 стор.). Роботу викладено на 275 сторінках, вона містить 67 таблиць, 76 рисунків. Друга частина дисертаційної роботи містить 11 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, сформульовано мету і завдання досліджень та концепцію роботи, визначено наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, особистий внесок здобувача у виконаних дослідженнях, відображені результати апробації та публікації здобувача за темою дисертаційної роботи.

У **розділі 1 «Сучасний стан і перспективи виробництва продуктів функціонального харчування»** розглянуто питання, пов'язані із сучасним станом функціонального харчування у світі та, зокрема, в Україні. На підставі цього можна висувати, що перед кондитерською галуззю стоять завдання збільшити виробництва різних видів нових харчових продуктів із заданими хімічним складом і властивостями. Узагальнено літературні дані, патентні та Internet-матеріали щодо характеристики фізіологічних інгредієнтів, які формують мікробіоценоз людини; проаналізовано чинники, що призводять до розвитку дисбактеріозів та визначено шляхи корекції; розглянуто роль та фізіологічне значення про-, пребіотиків і синбіотиків у харчуванні. Проаналізовано аспекти виживаності пробіотичних культур та сучасні способи «захисту» живих клітин мікроорганізмів від дії несприятливих чинників. Показано, що мікрокапсульовані форми мікроорганізмів значно підвищують стресостійкість клітин до агресивних факторів. Проаналізовано ринок кондитерських виробів із випуску продукції для корекції мікрофлори кишечника. Узагальнення цих даних стало підґрунтям для визначення основних науково-технічних напрямків досліджень, спрямованих на досягнення мети дисертаційної роботи.

У **розділі 2 «Програма, об'єкти та методи досліджень»** розглянуто методологію теоретичних та експериментальних досліджень, програму досліджень (рис. 1), яка відображає логічно взаємопов'язані етапи розв'язання завдань щодо розроблення кондитерських виробів із синбіотичними добавками. Наведено перелік сировини, яку застосовували під час проведення експериментів.

У роботі використано загальноприйняті та спеціальні методи досліджень. Органолептичні, фізико-хімічні показники якості (масову частку вологи, загальну кислотність, густину, вміст редукувальних та сухих речовин) визначали за стандартними методиками; міцність напівфабрикатів – на пенетрометрі AP-4/1; адгезійну напругу та твердість визначали на установці, розробленій на кафедрі технології хліба, кондитерських, макаронних виробів і харчоконцентратів; дисперсність помадної маси та мікрокапсул – мікроскопічним методом з використанням камери Горяєва; мікроструктуру помадної та зефірної маси із синбіоти-

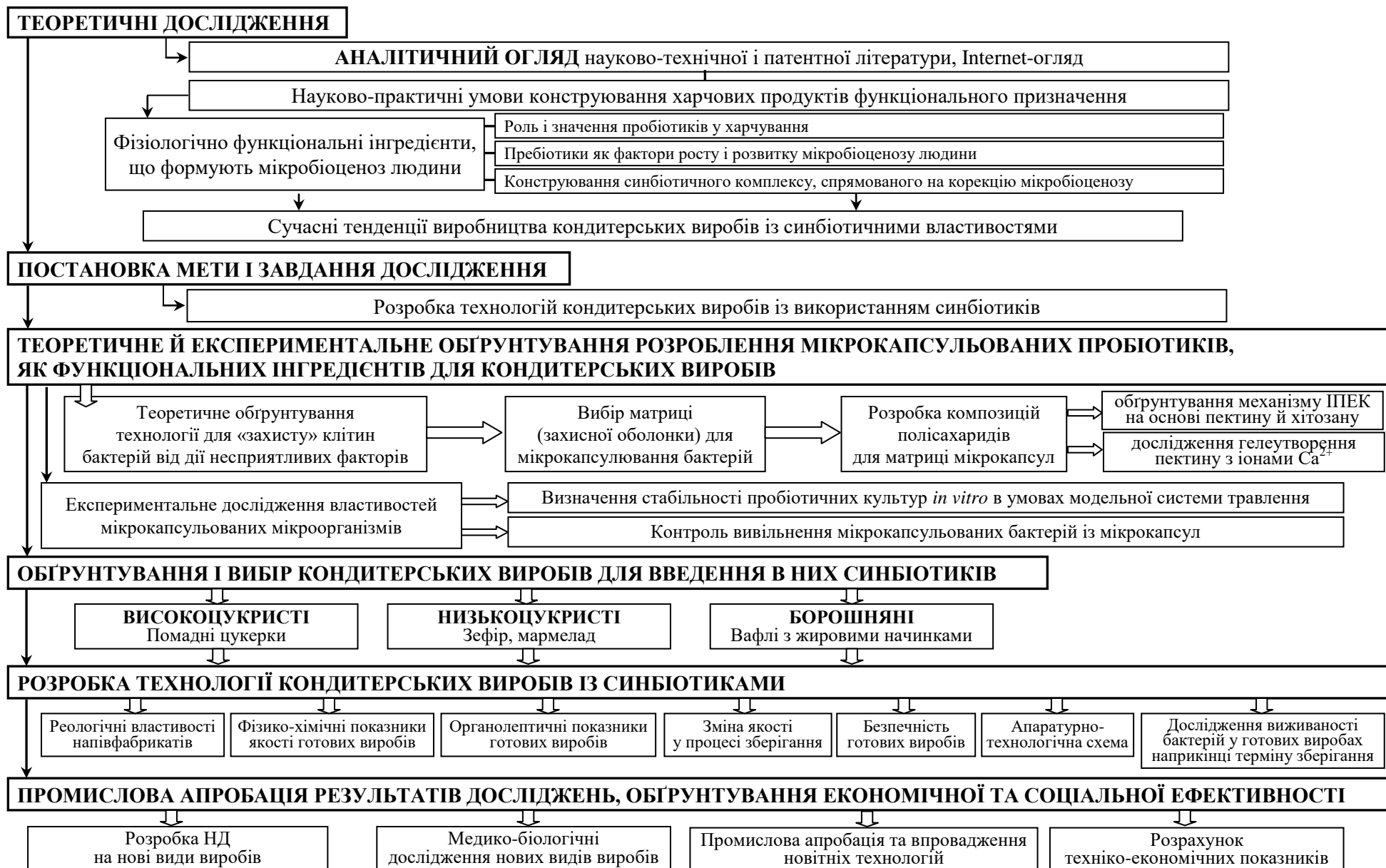


Рис. 1. Програма досліджень

ком – на мікроскопі MICROmed XS-5510, оснащеному веб-камерою; визначення реологічних характеристик кондитерських мас та розчинів полісахаридів – на ротаційному віскозиметрі «Реотест-2», динамічну в'язкість мікрокапсул – на віскозиметрі Геплера; оцінку повітряної фази жирової начинки – мікроскопічним методом; піноутворюючу здатність білкових сумішей – за методикою Varilko-Pikielka; однорідність розподілу рецептурних компонентів характеризували коефіцієнтом неоднорідності суміші. Фізико-хімічні характеристики комплексів хітозану з пектином досліджували на спектрофотометрі Specord 75 R. Сенсорні характеристики готових виробів – методом профілювання із застосуванням дескриптивного аналізу результатів.

Визначення стійкості мікроорганізмів до дії шлункового соку та жовчі здійснювали шляхом експозиції їх у штучному шлунковому соці та жовчі медичній консервованій. Вивчення кінетики вивільнення мікроорганізмів з мікрокапсул проводили, інкубуючи зразки у фосфатно-сольовому буфері.

Визначено показники екологічної безпеки, а саме: окислювально-відновний потенціал жирової начинки для вафель здійснювали на ОВП-метрі ORP-200; оцінку токсичності досліджуваних зразків проводили із застосуванням культури інфузорії колподи (*Colpoda steinii*); органічність харчових продуктів – методом біокристалізації.

Фізіологічні властивості кондитерських виробів з синбіотиками встановлювали медико-біологічними дослідженнями на лабораторних тваринах (щурах).

Для оброблення результатів експериментальних даних застосовували методи математичної статистики, для математичного опису технологічних процесів – методи експериментально-статистичного моделювання згідно з оригінальними програмами у середовищі MS Excel 2007 пакету MS Office.

У розділі 3 «Теоретичне та експериментальне обґрунтування розробки технології синбіотиків як функціональних інгредієнтів для кондитерських виробів» теоретично та практично обґрунтовано науково-технологічні принципи капсулювання пробіотичних мікроорганізмів для їхнього «захисту» від дії несприятливих чинників у матриці біополімерів-полісахаридів, що дало змогу розробити синбіотики для використання у технологіях КВ.

Проаналізувавши хімічну структуру, технологічні та фізіологічні властивості, харчову безпечність, переваги біополімерів як капсулюючих речовин, запропоновано використання пектину й хітозану. Обґрунтовано композицію структуроутворювачів для створення матриці мікрокапсул, яка складається із пектинового та пектин-хітозанового гелю. Під час одержання пектин-хітозанового гелю проводили поєднання їхніх водних розчинів. Варіювали концентрації біополімерів у розчині в інтервалі 3...5 %, і співвідношення хітозан:пектин 30:70, 50:50, 70:30.

У разі використання пектину матриця утворюється на основі іонного комплексотворення з полівалентними металами. А внаслідок взаємодії пектину й хітозану відбувається створення інтерполіелектролітного комплексу (ШЕК) в результаті іонних взаємодій між двома протилежно зарядженими полімерами.

З'ясовано, що утворення гідрогелю при зливанні розчинів хітозану і пектину здійснюється внаслідок електростатичної взаємодії карбоксильних груп (COO^-) пектину й аміногруп хітозану (NH_3^+), міжмолекулярних гідрофобних взаємодій, водневих та ковалентних зв'язків. На рис. 2 унаочнено модель формування поліелектролітних контактів між пектином і хітозаном.

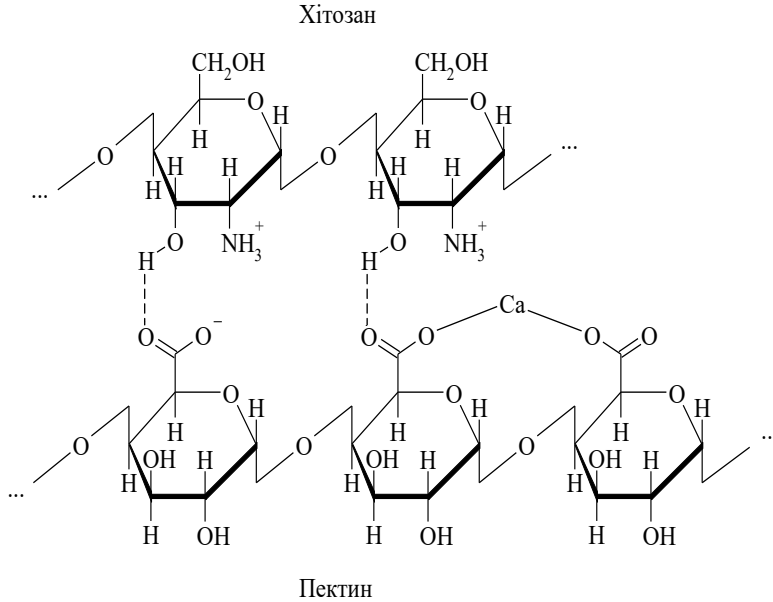


Рис. 2. Модель формування поліелектролітних контактів між пектином і хітозаном

ка зі співвідношенням пектину й хітозану 70:30 та в 1,5 рази вища, ніж у зразка зі співвідношенням біополімерів 30:70. Отже, найсильніша взаємодія між хітозаном і пектином відбувається в розчинах з однаковою кількістю полісахаридів.

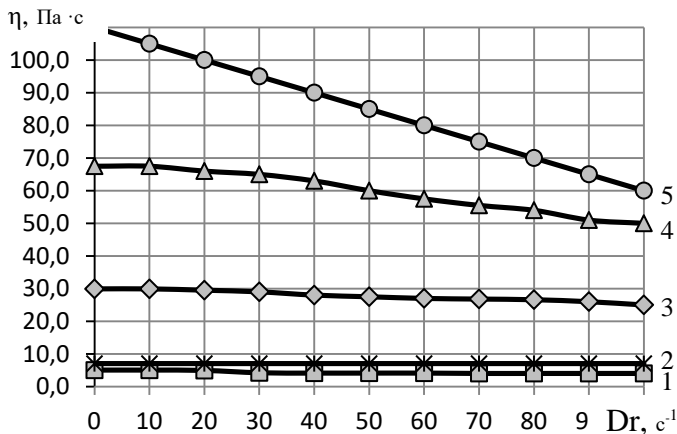


Рис. 3. Зміна в'язкості розчинів пектину, хітозану та їх сумішей: 1 – пектин; 2 – хітозан; суміш хітозан-пектин: 3 – 70:30; 4 – 30:70; 5 – 50:50

стоти – 1600 см^{-1} – вказує на утворення ШЕК під час електростатичної взаємодії між аміногрупами хітозану і карбоксильними пектину.

Загальним для інтегральних спектрів зазначених зразків є наявність сильної смуги поглинання в зоні $1200\text{...}700\text{ см}^{-1}$ з максимумом близько 1004 см^{-1} . Поглинання в цій ділянці спектра свідчать про те, що групи OH у

Експериментально встановлено співвідношення пектину й хітозану методом ІЧ-спектрометрії, реологічного аналізу розчинів полісахаридів та дослідів *in vitro* по вивченню виживання мікрокапсульованих клітин бактерій в умовах шлунково-кишкового тракту (ШКТ).

В'язкісні характеристики хітозан-пектинових розчинів свідчать, що найвищу в'язкість спостерігаємо у зразку зі співвідношенням хітозан:пектин 50:50 (рис. 3), яка втричі більша, ніж у зразка

Аналіз даних диференціальної спектроскопії показав, що спектр ШЕК, порівняно зі спектрами вихідних полісахаридів, характеризується зниженням інтенсивності смуг поглинання за умови 1620 см^{-1} (аміногрупи) і 1700 см^{-1} (карбоксильні групи). Широкий пік поглинання у разі $1600\text{...}1500\text{ см}^{-1}$ у спектрах комплексів указує на зміну властивостей аміногрупи внаслідок її взаємодії з пектином. Наявність широкої смуги в зоні низької частоти

зразках перебувають у зв'язаному стані, екрановані і долучені до різних видів міжмолекулярних взаємодій.

Визначено дисперсність мікрокапсул, яка впливає на їхню технологічну стійкість і швидкість вивільнення мікроорганізмів (табл. 1).

Таблиця 1
Дисперсність мікрокапсул ($p \leq 0,05$)

Середній діаметр, мкм	Вміст фракцій різних розмірів, %	
	Пектинова матриця	Пектин-хітозанова матриця
0 – 5	5	5
5 – 10	3	4
10 – 15	90	85
15 – 20	2	3
20 – 25	–	2
25 – 30	–	1

Розмір мікрокапсул з пектиною та пектин-хітозаною матрицями становить 10...15 мкм, що є важливою характеристикою у разі введення їх до складу КВ, оскільки це запобігатиме погіршенню органолептичних властивостей готових виробів.

Визначено зміну кількості вільних клітин та інкапсульованих

у різні види матриць пробіотиків. Одержані зразки мікрокапсул зберігали в герметично закритих боксах за температури 4 ± 2 °С. Порівняльна гістограма життєздатних клітин пробіотичних культур біфідо- та лактобактерій у процесі зберігання мікрокапсул (рис. 4 та 5) свідчить про те, що мікрокапсульовані клітини мікроорганізмів (лакто- і біфідобактерії) зберігають життєздатність на фізіологічно активному рівні (10^6 КУО/г) у пектиновій матриці протягом 6 тижнів, а у пектин-хітозановій матриці протягом 7 тижнів. Вільні клітини мікроорганізмів зберігають життєздатність протягом 2 тижнів.

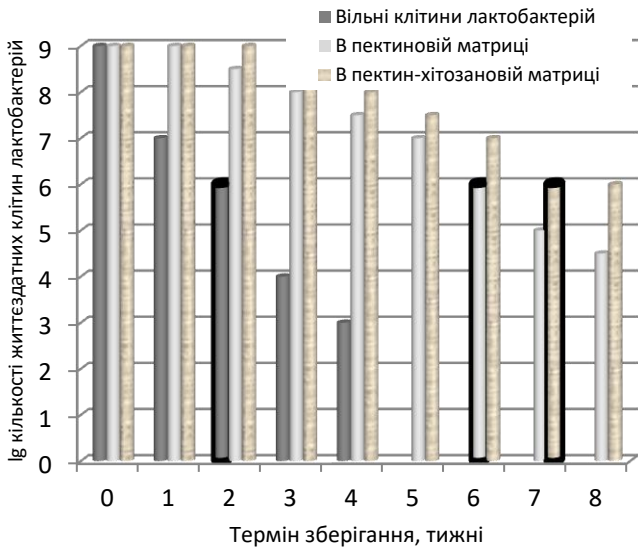


Рис. 4. Порівняльна гістограма життєздатних клітин біфідобактерій у процесі зберігання

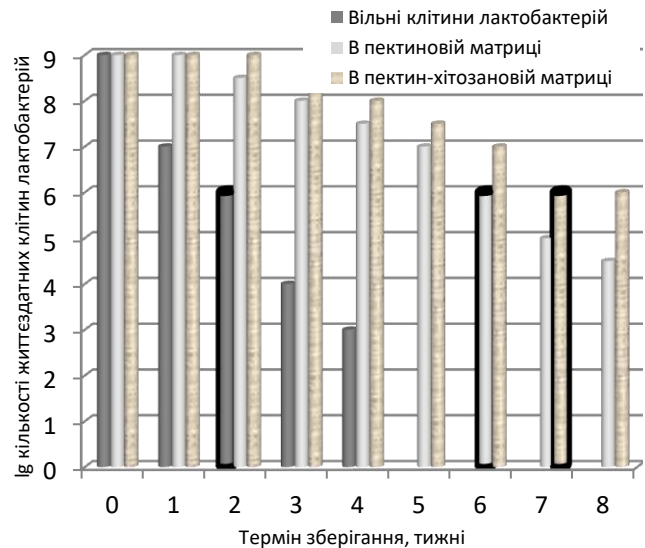


Рис. 5. Порівняльна гістограма життєздатних клітин лактобактерій у процесі зберігання

У разі зберігання гелів у системах відбуваються зміни, пов'язані з агрегацією частинок, вищанням твердості та еластичності, з гідратацією, поділом гелю на дві фази, спричинені старінням систем.

Важливу інформацію про структуру і властивості гелевих композицій подають реологічні параметри систем. Дослідження динамічної в'язкості мікрокапсул з пектиною та пектин-хітозаною оболонкою проводили за температури (4 ± 2) °С (табл. 2), тобто відповідно до умов зберігання мікрокапсул.

Визначення зміни динамічної в'язкості мікрокапсул залежно від тривалості зберігання ($n = 3, p \leq 0,05$)

Зразок	Термін зберігання, тиждень							
	Динамічна в'язкість, Па · с							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Маса мікрокапсул з пектиновою матрицею	135,7	135,1	131,6	131,0	130,2	130,0	121,5	110,5
Маса мікрокапсул з пектин-хітозаною матрицею	295,0	294,8	294,0	294,0	294,0	283,8	270,1	260,5

Отже, протягом перших 4-х тижнів в'язкість усіх зразків практично не змінилась. У мікрокапсул з пектиновою матрицею на 8-й тиждень відбулось зниження в'язкості на 20 %, а з пектин-хітозаною – на 12 %. Можна виснувати, що мікрокапсули з пектиновою матрицею здатні зберігатись без зміни реологічних показників протягом 7 тижнів, а з пектин-хітозаною – протягом 8 тижнів. Утім, одержані мікрокапсули стабільні, структуру гелю не зруйновано.

Щоб підтвердити ефективність використання мікрокапсулювання для захисту клітин від несприятливих умов шлунково-кишкового тракту проведено дослідження порівняльної виживаності іммобілізованих клітин *Lactobacillus acidophilus* та *Bifidobacterium bifidum* у пектинові та пектин-хітозанові капсули та їхніх рідких культур-аналогів під час експозиції, що тривала 3 год у середовищі зі шлунковим соком і 3 год із жовчю (рис. 6, 7).

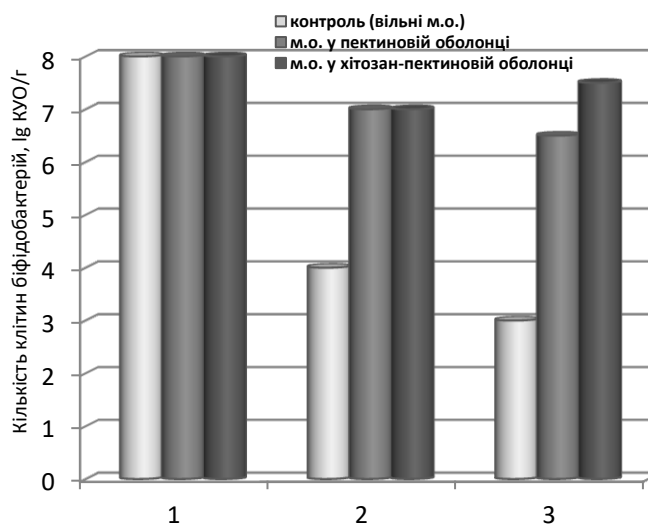


Рис. 6. Виживаність клітин *Bifidobacterium*

bifidum у несприятливих умовах, які імітують ШКТ: 1 – до введення у модель ШКТ, 2 – через 3 год після внесення у шлунковий сік, 3 – через 3 год після внесення у жовч

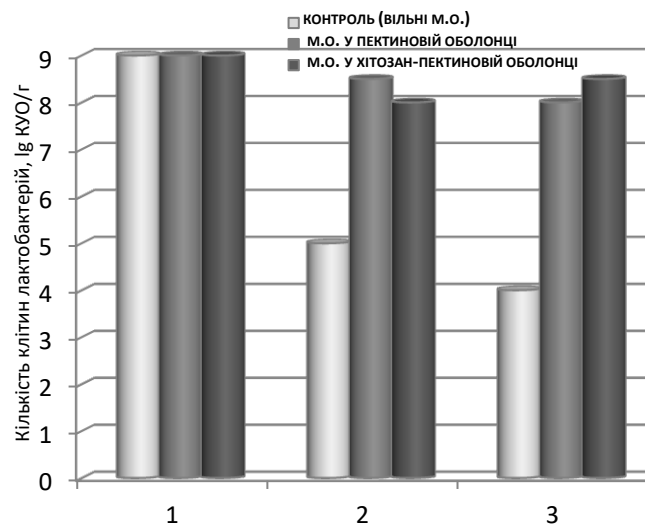


Рис. 7. Виживаність клітин *Lactobacillus*

acidophilus у несприятливих умовах, які імітують ШКТ: 1 – до внесення у модель ШКТ, 2 – через 3 год після внесення у шлунковий сік, 3 – через 3 год після внесення у жовч

Здобуті результати свідчать про загибель близько 60 % вільних клітин біфідо- і лактобактерій, тимчасом як, виживаність мікроорганізмів, включених у пектинову і пектин-хітозанову матриці при введенні їх у шлунковий сік і жовч, скорочується у середньому на 6...20 %.

Визначення ефективності інкапсуляції, яка є важливим показником для оцінки ефекту вбудовування клітин мікроорганізмів у матриці, показали, що відсоток захоплених клітин у пектинову матрицю становив 88 %, а у пектин-хітозанову – 96 %.

Для надання пробіотичного ефекту мікрокапсули з мікроорганізмами мають досягти нижніх відділів тонкого кишечника, де відбувається руйнування їхніх оболонок із вивільненням бактерій і подальшим заселенням слизової товстого кишечника. Визначили вивільнення клітин пробіотиків за рН тонкого кишечника (рН = 7,2...7,5) для вивчення регульованого виходу мікроорганізмів з мікрокапсул у тонкому кишечнику.

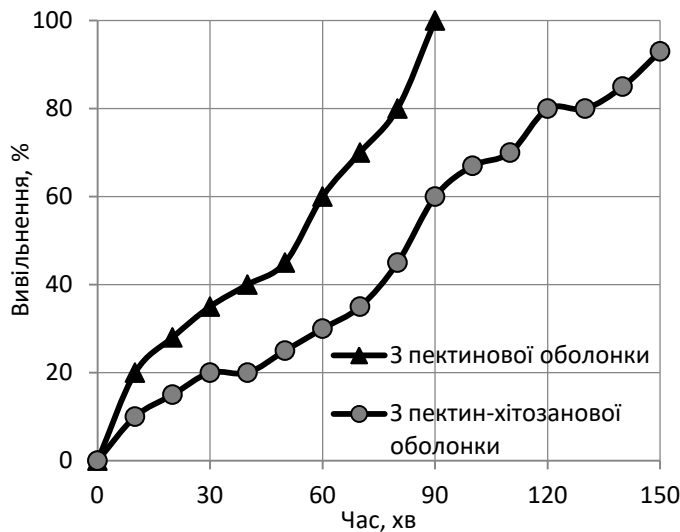


Рис. 8. Кінетична крива вивільнення мікрокапсульованих біфідо- та лактобактерій у модельному середовищі (рН = 7,4) з пектинової та пектин-хітозанової оболонок

роорганізмів у місцях їхньої дислокації завдяки розпаду пектинових і пектин-хітозанових оболонок, пов'язаного з дисоціацією пектин-хітозанового поліелектролітного комплексного покриття, а також гелю пектинату кальцію за умов рН тонкого кишківника.

Науково обґрунтовано та практично перевірено теоретичні положення утворення мікрокапсул «пробіотики-оболонкоутворювач» за комбінованим способом – іммобілізація в гель і мікрокапсулювання, що стало науковим підґрунтям для розроблення технологічного процесу виробництва синбіотиків (рис. 9).

Аналіз технології виробництва кондитерських виробів (табл. 3) показав, що одержання цукеркових кондитерських мас (помадної, зефірної, мармеладної) відбувається при високих температурних режимах (вище від 100 °С). Тому доцільно вносити мікрокапсули з мікроорганізмами (синбіотики) до складу помадної і желевної маси на стадії темперування за температури відповідно 65...75 °С і 80...85 °С. У зефірну масу синбіотики вносять наприкінці збивання, у жирову начинку – під час змішування рецептурних компонентів.

З огляду на нестійкість синбіотиків до температури, механічної дії та вмісту цукру й жиру визначили їхній вплив на виживаність бактерій (табл. 4).

Встановили (рис. 8), що вивільнення бактерій із мікрокапсул з пектиновою оболонкою відбувається за 90 хв, а із пектин-хітозанової – за 150 хв.

Результати експериментальних даних свідчать про те, що запропонований спосіб мікрокапсулювання пробіотичних клітин має високу ефективність інкапсуляції і використані полісахариди в ролі матриці мікрокапсул дадуть змогу забезпечити як надійний «захист» бактерій від дії несприятливих чинників шлунково-кишкового тракту, так і пролонговане вивільнення мікроорганізмів у місцях їхньої дислокації завдяки розпаду пектинових і пектин-хітозанових оболонок, пов'язаного з дисоціацією пектин-хітозанового поліелектролітного комплексного покриття, а також гелю пектинату кальцію за умов рН тонкого кишківника.

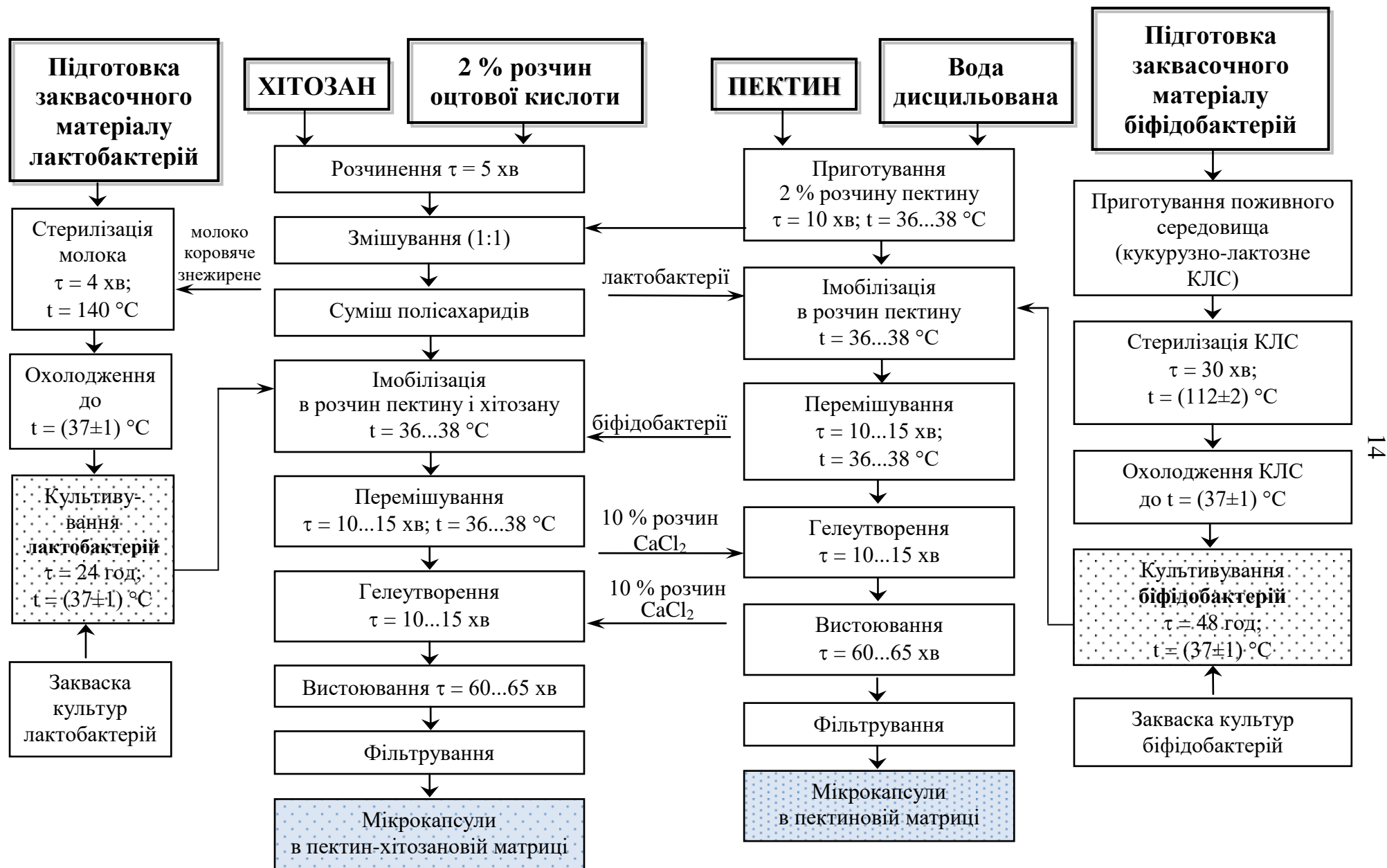


Рис. 9. Технологічна схема виробництва синбіотиків

**Несприятливі технологічні фактори виробництва
кондитерських мас для життєздатності мікроорганізмів**

Вид кондитерського виробу	Технологічні стадії	Фактори, які впливають на життєздатність мікроорганізмів
Помадні цукерки	Уварювання цукрово-патокового сиропу, $t = (116...120) ^\circ\text{C}$	Температура
	Збивання помадного сиропу – одержання помадної маси, $t_{30} = (65...80) ^\circ\text{C}$, $n = 300$ об/хв	Механічний вплив Температура
	Темперування помадної маси, $t = (65...75) ^\circ\text{C}$, $n = 25$ об/хв	Механічний вплив Температура Концентрація цукру (80 %)
	Зберігання цукерок, (10 діб)	Тривалість зберігання
Зефір	Уварювання цукрово-патокового сиропу, $t = (120...125) ^\circ\text{C}$	Температура
	Охолодження цукрово-патокового сиропу, $t = (85...90) ^\circ\text{C}$	Температура
	Збивання зефірної маси, $n = 400$ об/хв	Механічний вплив Концентрація цукру (60 %)
	Підсушування зефірної маси, $t = (33...36) ^\circ\text{C}$, $\tau = 5-6$ год	Температура
	Зберігання зефіру, (30 діб)	Тривалість зберігання
Мармелад желейний	Уварювання сиропу – приготування желейної маси, $t = (115...118) ^\circ\text{C}$	Температура
	Темперування желейної маси, $t = (80...85) ^\circ\text{C}$	Температура Концентрація цукру (60 %)
	Приготування желейної маси – додавання барвників, смакових речовин	Механічний вплив
	Підсушування, $t = (30...40) ^\circ\text{C}$, $\tau = 40-50$ хв	Температура
	Зберігання мармеладу, (30 діб)	Тривалість зберігання
Жирова начинка для вафель	Замішування жирової начинки, $n = 84$ об/хв	Механічний вплив Концентрація цукру (50 %) Масова частка жиру (30 %)
	Намазування начинки на вафельні листи, $t = (29...30) ^\circ\text{C}$	Температура Механічний вплив
	Зберігання вафель, (90 діб)	Тривалість зберігання

Здебільше на життєздатність бактерій негативно впливає висока концентрація цукру (80 %), тому рекомендовано вносити до складу низькоцукристих КВ (зефіру, мармеладу) і жирової начинки для вафель мікрокапсули з бактеріями у пектиновій і пектин-хітозановій матрицях. У разі введення до складу помадних цукерок перевагу доречно віддавати бактеріям, іммобілізованим у пектин-хітозанові матриці. Крім того одним із заходів забезпечення фізіологічної активності пробіотиків є внесення до рецептури виробів таких пребіотиків, як лактулози та інуліну, використання яких дасть змогу зменшити вміст цукру і жиру.

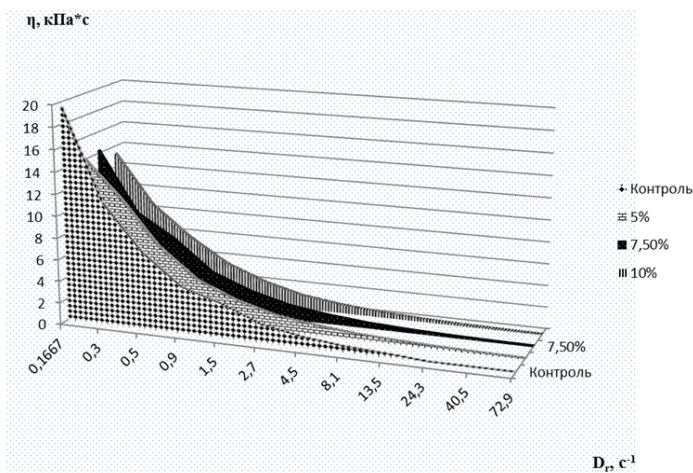
Вживаність інкапсульованих клітин біфідо- та лактобактерій залежно від дії несприятливих технологічних факторів ($p \leq 0,05$)

№ п/п	Технологічні фактори	Зменшення кількості життєздатних клітин бактерій, інкапсульованих у матриці, %			
		біфідобактерії		лактобактерії	
		пектинова	пектин-хітозанова	пектинова	пектин-хітозанова
1	Механічний вплив, $n = 84$ об/хв	0,2	0	0,1	0
2	Механічний вплив, $n = 400$ об/хв	12,0	1,5	11,0	0,5
3	Температура, $75\text{ }^\circ\text{C}$, $\tau = 15$ хв	0,8	0,2	0,5	0,2
4	Температура, $85\text{ }^\circ\text{C}$, $\tau = 15$ хв	10,0	0,5	7,0	0,3
5	Концентрація цукру, 50 %	0,1	0	0,05	0
6	Концентрація цукру, 60 %	3,5	0,6	3,0	0,5
7	Концентрація цукру, 80 %	42,0	8,0	30,0	6,5
8	Масова частка жиру, 30 %	15,0	1,5	10,0	1,0

У розділі 4 «Розроблення технології цукристих кондитерських виробів з використанням синбіотичного комплексу» обґрунтовано співвідношення компонентів синбіотичного комплексу (СК) для використання в технологіях цукристих КВ. Доведено можливість використання пребіотику лактулози у складі СК як заміника цукру у виробництві помадних цукерок, зефіру і мармеладу. Вивчено вплив СК на фізико-хімічні, структурно-механічні властивості напівфабрикатів та якість готових виробів.

Реологічні властивості помадного сиропу впливають на процес кристалізації помадної маси і визначають її спосіб формування (рис. 10). Вивчення впливу СК на реологічні характеристики помадних мас показало, що ефективна в'язкість меншає на 16...28 %, що, ймовірно, відбувається через те, що в цукеркових масах нижчає вміст цукру і в рецептуру вводиться синбіотик з високою вологістю, що призводить до незначного меншання частки твердої фази помади.

Рис. 10. Залежність ефективної в'язкості помадних мас з мікрокапсульованими бактеріями від градієнта швидкості зсуву (D_r) і масової частки лактулози



Аналізуючи криві течії помадних мас, встановили, що помадні маси належать до псевдопластичних тіл, індекс течії яких становить 0,07...0,09.

На підставі результатів експериментальних досліджень розроблено узагальнену реологічну модель для розрахунку ефективної в'язкості помадних мас, що містять мікрокапсули (синбіотик) і лактулозу:

$$\eta_{\text{еф}} = (-0,0734 m_{\text{лактул}} + 3,7272) D_r^{-0,918}$$

Вивчено вплив СК на міцність помадних мас під час структуротворення. Про швидкість структуротворення помадної маси можна висновувати з огляду на більшання граничного напруження зсуву. Як унаочнено на рис. 11, для всіх

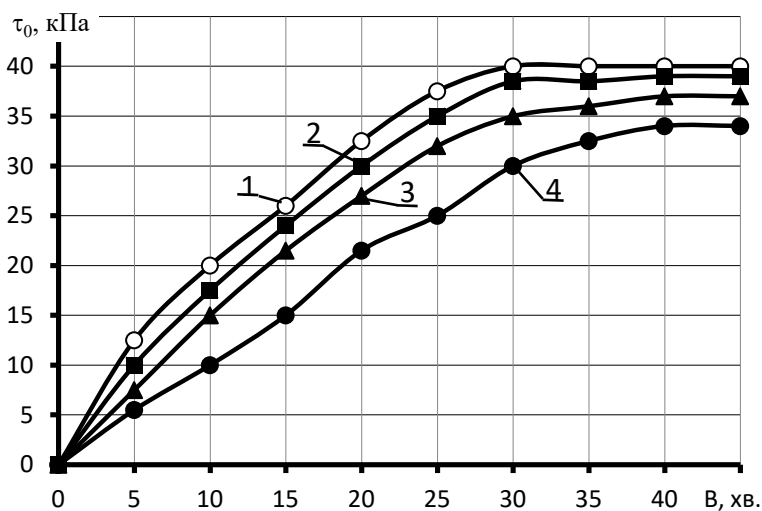


Рис. 11. Кінетика структурної міцності помадних мас з синбіотиком і різним вмістом лактулози: 1 – контроль; 2 – 5%; 3 – 7,5%; 4 – 10%

зразків помадної маси величина граничної напруги зсуву різко вищає за невеликий проміжок часу, що свідчить про високу швидкість кристалізації сахарози. Високий ступінь пересичення розчину призводить до інтенсивної кристалізації сахарози не тільки на поверхні, але й у внутрішніх шарах корпусу і дає змогу досягти потрібної консистенції за умови значення граничної напруги зсуву 35 кПа. У зразках із більшанням масової частки

лактулози міцність структури дослідних цукеркових мас незначно меншає. Контрольний зразок сягає значення 35 кПа протягом 25 хв, таку саму тривалість спостерігаємо у зразку з уведенням 5 % лактулози, тоді як у зразка із вмістом 7,5 – 30 хв, а у зразка з 10 % лактулози й мікрокапсульованих мікроорганізмів цей час становить 40 хв. Незначне зменшення міцності у зразках, які містять СК, у порівнянні з контрольним зразком можна пояснити тим, що кристалічна решітка сахарози являє собою структурний «каркас» помадної маси. У зв'язку зі зменшенням в'язкості маси та підвищенням рідкої фази частина кристалів сахарози переходить з твердого стану в рідке і, як наслідок, це призводить до меншання міцності у досліджуваних зразках помадної маси. За умови внесення добавок не тільки збільшується вміст рідкої фази, але й змінюється її склад, що призводить до зміни концентрації сахарози в ній, внаслідок чого меншає коефіцієнт перенасичення і процес структуротворення незначно сповільнюється.

Фракційний склад помадної маси з використанням СК наведено в табл. 5, мікроструктура помадної маси з лактулозою та мікрокапсульованими біфідобактеріями на рис. 12.

Таблиця 5

Фракційний склад помадної маси із синбіотиком ($n = 5, p \leq 0,05$)

Розмір кристалів, мкм	Вміст фракцій кристалів різних розмірів, %			
	Масова частка лактулози, % та мікрокапсульовані м.о. 10^7 КУО/г			
	0	5	7,5	10
0 – 5	20,5	40	43,0	51
5 – 10	36,0	32	34,5	41
10 – 15	14,5	15	18,0	6
15 – 20	8,5	12	4,0	2
20 – 25	9,0	1	0,5	–
25 – 30	6,0	–	–	–
30 – 35	5,5	–	–	–

Внесення до помадної маси СК сприяє одержанню високодисперсної твердої фази з розміром кристалів до 5 мкм, що у 2-2,5 рази більше, ніж у контрольного зразку. Частинки лактулози і мікрокапсули, розподіляючись між кристалами помади, стають додатковими центрами кристалізації, внаслідок чого відбувається утворення кристалів дрібних фракцій.

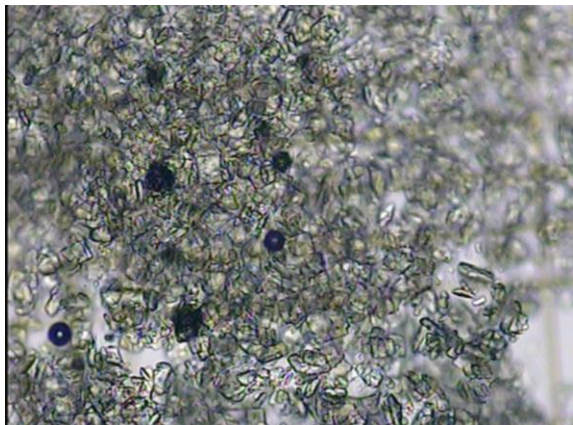


Рис. 12. Мікроструктура помадної маси із СК (збільшення у 400 разів)

Результати дослідження властивостей помадних цукерок у процесі зберігання показали покращення якості помадних цукерок із СК порівняно з контролем, який швидше черствівшав, набував «зацементованої» консистенції, неоднорідного забарвлення з білими плямами і малоприємного смаку. Проте дослідні зразки зберігали м'яку, ніжну, дрібнокристалічну структуру, приємний смак, що свідчить про збереження первинних властивостей виробів із синбіотиком. Отже, встановлено стадії внесення лактулози і мікрокапсульованих бактерій (синбіотику), визначено технологічні особливості виробництва і розроблено рецептури помадних цукерок із синбіотиком – «Дует-Н» та «Турботливі».

Для розроблення СК для зефіру вносили в рецептуру лактулозу з різною масовою часткою (5; 7,5 та 10 %), одночасно замінюючи кількість цукру, і мікрокапсульовані біфідо- або лактобактерії (синбіотик). Внесення СК до складу зефірної маси істотно покращує якісні показники піни (табл. 6): меншає густина на 5...12 %; кратність піни більшає в 1,1-1,3 рази порівняно з контролем; вищає стійкість піни.

Таблиця 6

Фізико-хімічні показники зефірної маси ($n = 5, p \leq 0,05$)

Показники	Мікрокапсульовані біфідобактерії 10^7 КУО/г та масова частка лактулози, %			
	0%	5%	7,5%	10%
Вологість, %	28,7	29,0	29,4	30,0
Вміст редукувальних речовин, %	12,8	13,2	13,5	13,8
Титрована кислотність, град.	5,2	5,4	5,5	5,6
Густина, кг/м ³	410	390	380	360
Кратність піни	2,09	2,3	2,45	2,7
Стійкість піни, %				
– через 1 год	97,7	98,5	99,1	99,5
– через 24 год	97,7	98,5	99,1	99,5

На якість готового продукту значно впливає рівномірність розподілу і дисперсність бульбашок піни. Зефірна маса із СК має більш дрібнодисперсну та однорідну структуру, повітряні пухирці більш рівномірно розподілені по всьому об'єму (рис. 13 а). Середній розмір повітряних включень контрольного зразку становить 20...25 мкм (рис. 13 б), а дослідної – 10...12 мкм, що дало змогу одержати вироби ніжнішої консистенції.

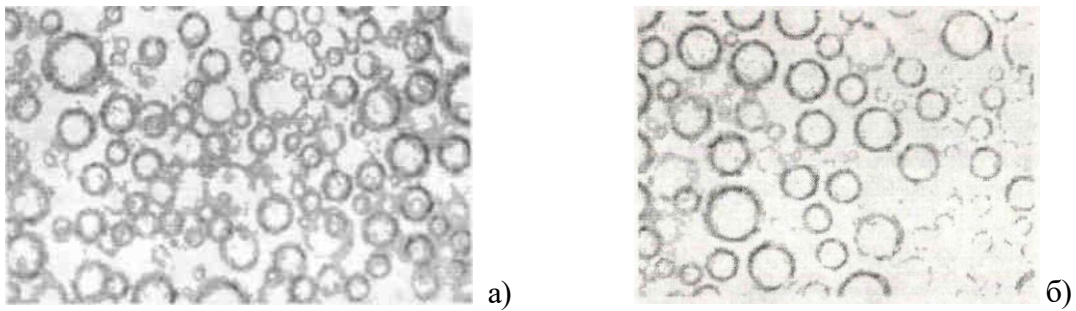


Рис. 13. Мікроструктура зефірної маси: а) з СК; б) контрольний зразок (збільшення 400х)

Для піноподібних мас характерна особливість механічної поведінки в течії, а саме псевдопластичність. Прояв псевдопластичності полягає у меншанні ефективної в'язкості зі зростанням градієнта швидкості (рис. 14). Із уведенням в зефірну масу синбіотичного комплексу відбувається нижчання ефективної в'язкості, яке, ймовірно, пов'язане з підвищенням вологості зефірних мас, що призводить до їх розрідження. Це зумовлено тим, що заміна в рецептурі сахарози на лактулозу сприяє більшанню вільної вологи, через що відбувається підвищення загальної розчинності цукру в системі «пектин-сахароза-лактулоза», адже за 20 °С розчинність лактулози стає більшою від розчинності сахарози. Отже, додавання лактулози до сахарози буде підвищувати їхню розчинність і збільшувати кількість вільної вологи в системі.

Вивчено процес структуротворення зефірних мас із СК (рис. 15) і встановлено, що більшання вмісту масової частки лактулози у СК інтенсифікує кінетику формування кристалізаційно-коагуляційної структури зефіру і тривалість структуротворення скорочується для всіх зразків порівняно з контрольним на 30 хв. Підвищення міцності зефірних мас спричинено тим, що в дослідних зразках частина цукру замінюється лактулозою. Однак, як відомо, цукор збільшує поверхневий натяг водних розчинів і, отже, ускладнює їхнє піноутворення. А відтак у дослідних зразках покращується процес піноутворення і підвищується стійкість піни, що призводить до збільшення міцності утвореної просторової структури зефірної маси.

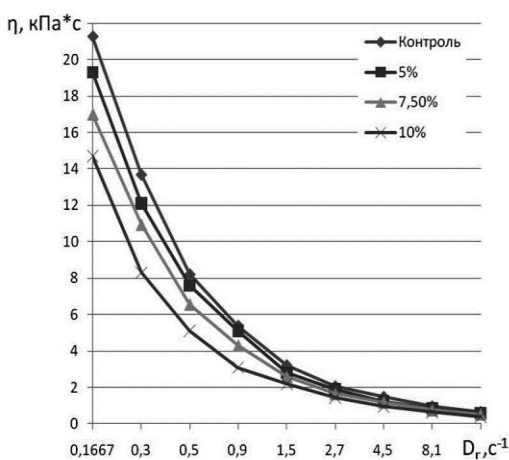


Рис. 14. Зміна ефективної в'язкості зефірної маси із синбіотиком та різним вмістом лактулози від швидкості зсуву

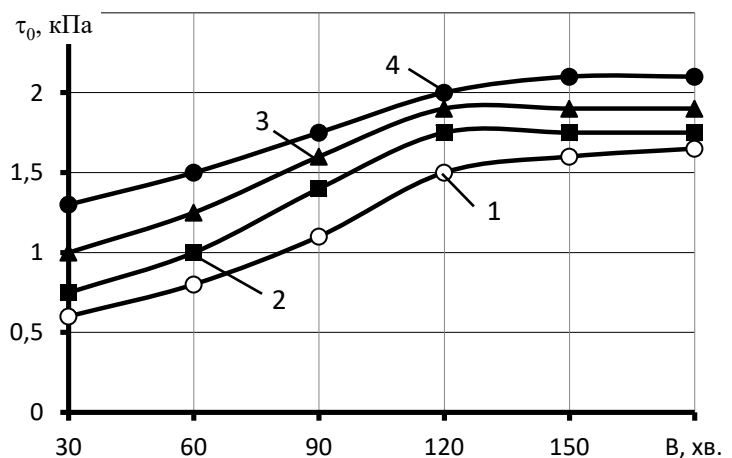


Рис. 15. Кінетика структуротворення зефірних мас із синбіотиком та лактулозою: 1 – контроль; 2 – 5 %; 3 – 7,5 %; 4 – 10 %

Вивчено зміну адгезійної міцності зефірних мас із СК і встановлено, що з плином часу вона у досліджуваних мас значно нижчає (рис. 16). Стабілізація адгезії для мас з уведенням СК відбувається через 120 хв, тоді як для контрольного зразка – 150 хв. У всіх зразках спостерігаємо адгезійний відрив, тобто міжмолекулярна взаємодія зберігає границю розділу фаз між зефірною масою і огорожувальною поверхнею.

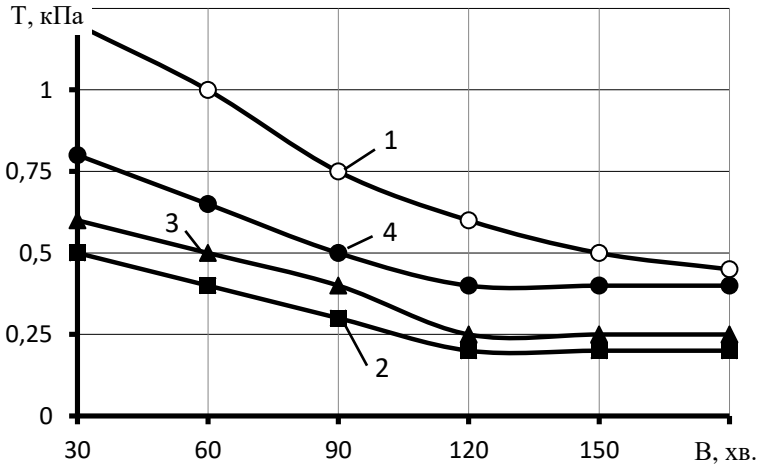


Рис. 16. Зміна адгезійної міцності зефірних мас з синбіотиком та лактулозою: 1 – контроль; 2 – 5 %; 3 – 7,5 %; 4 – 10 % від часу вистоявання

Водночас у контрольному зразку більшання вмісту сухих речовин призводить до викристалізації цукру і утворенню грубої кристалічної скоринки.

Аналіз змін фізико-хімічних і структурно-механічних властивостей піноподібних мас із СК дозволили встановити рекомендовані технологічні параметри для отримання високодисперсної, пишної зефірної маси (табл. 7).

Під час зберігання дослідних зразків зефіру із СК уповільнюється втрата вологи внаслідок чого вироби зберігають первинні текстурні й органолептичні властивості.

Таблиця 7

Технологічні параметри виробництва зефірних мас

Структурно-механічні властивості			Технологічні параметри		
Густина, кг/м ³	Структурна міцність, кПа	В'язкість, кПа·с	Інтенсивність збивання, об/хв	Температура збивання, °С	Тривалість збивання, хв
380	1,7	2,0 при $D_r = 2,7$	400	38 ± 2	4-6

Розроблено математичну модель виробництва зефірної маси, розраховано рівняння регресії та проаналізувано адекватність рівнянь результату експерименту за критерієм Фішера (F), встановлено оптимальні параметри, які визначають найкращу якість зефіру за показником густини й органолептичним показником: масова частка лактулози – 7,5 %, час збивання зефірної маси – 6 хв, інтенсивність збивання зефірної маси – 400 об/хв.

Запропоновано синбіотичний комплекс для мармеладу, який складається із лактулози, масова частка якої становить 5, 10 і 15 % від маси сухих речовин, поряд з чим меншає відповідно кількість цукру на 6,6; 12,3 та 18,1 %; та мікрокапсульованих біфідобактерій (синбіотик) у кількості 10^7 КУО/г.

Визначено структурно-реологічні властивості желейних мас (табл. 8).

Міцність мармеладних виробів, що уможливило проводити подальші технологічні операції, наприклад, такі як виїмка з форм, різання, фасування складає 7,5 кПа. Як свідчать здобуті результати, введення у желейну масу СК призводить до незначного зниження міцності мармеладної маси. Це, ймовірно, зу-

мовлено тим, що, як відомо, просторова структура драглю становить коміркуву структуру, яка пронизує усю масу, створену довгими і гнучкими макромолеку-

Таблиця 8
Структурно-реологічні властивості желейних мас з СК
($p \leq 0,05$)

Зразок	Час досягнення міцності 7,5 кПа, хв	Максималь- на міцність, кПа	В'язкість, Па · с за $\gamma = 0,333 \text{ c}^{-1}$
Контроль	4	15,71	470,73
5 % лактулози, мікрокапсульовані м.о., 10^7 КУО/г	8	12,33	314,9
10 % лактулози, мікрокапсульовані м.о., 10^7 КУО/г	6	13,8	330,25
15 % лактулози, мікрокапсульовані м.о., 10^7 КУО/г	5	14,55	345,6

лами драглеутворювача завдяки силам внутрішньої- і міжмолекулярної взаємодії. Вільний простір структурного каркаса заповнюється дисперсійним середовищем, представленим концентрованим водним розчином цукрів, патоки і кислоти. У разі додавання до рецептури лактулози і мікрокапсул відбувається меншання кількості сахарози і зміна складу дисперсійного середовища, що призводить до нижчання міцності вторинної структури коагуляції, яка утворюється під час взаємодії дисперсної фази і дисперсійного середовища внаслідок зменшення структурування оболонки дисперсного середовища навколо молекул драглеутворювача. Однак незначне зниження міцності здобутих зразків не чинить негативного впливу на формотримальну здатність мармеладних виробів.

Крім того, з більшанням масової частки лактулози спостерігаємо зниження ефективної в'язкості на 27...32 %, що позитивно позначається на процесі формування методом відливання у форми.

Аналіз фізико-хімічних, органолептичних, мікробіологічних властивостей мармеладу із СК уможливив застосування останнього в технології желейного мармеладу. Розроблено рецептуру мармеладу «Живинка».

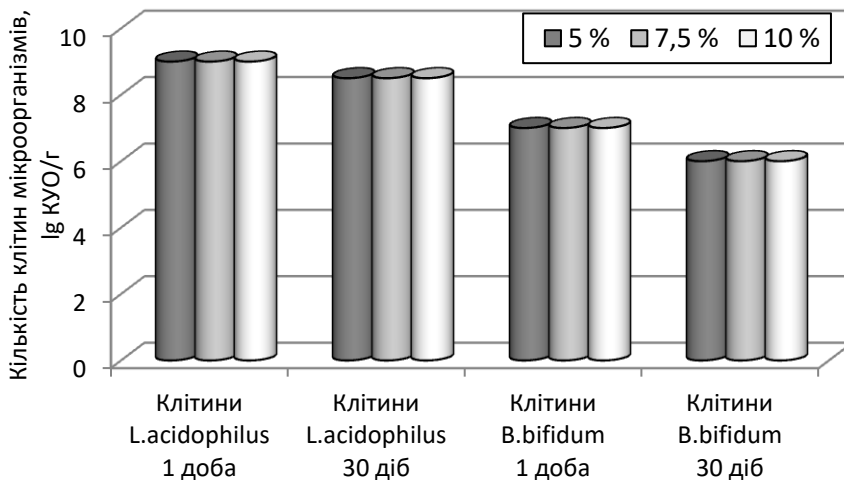


Рис. 17. Зміна кількості життєздатних клітин біфідо- та лактобактерій у процесі зберігання мармеладу з мікрокапсульованими бактеріями та лактулозою в кількості 5; 7,5 та 10 %

ному формовому мармеладі наприкінці строку зберігання (рис. 17).

Одним з основних показників якості готового виробу під час його позиціонування як продукту з пробіотичними властивостями є вміст життєздатних клітин мікроорганізмів протягом усього терміну зберігання. Вивчено зміну кількості життєздатних клітин біфідо- та лактобактерій у желей-

Після 30 діб зберігання кількість клітин лактобактерій знизилась на половину порядку, а біфідобактерій – на один порядок, водночас у контрольному зразку мармеладу, в який ввели живі, «незахищені» мікроорганізми, наприкінці терміну зберігання живих клітин біфідо- та лактобактерій не виявлено.

У розділі 5 «Особливості технології вафельних виробів із жировою начинкою з синбіотиками» обґрунтовано та розроблено синбіотичні комплекси для використання їх у технології жирової начинки для вафель, визначено їхній рецептурний склад, запроновано технологічні заходи для випуску готових виробів зі зниженим цукро- та жиромістом.

На підставі попередньо проведених досліджень визначено раціональне співвідношення і масову частку пребіотиків, а також кількість пробіотиків у кожному синбіотичному комплексі (табл. 9), які вносили до складу жирової начинки для вафельних виробів.

Таблиця 9

Синбіотичні комплекси для жирової начинки

Назва синбіотичного комплексу	Вид та масова частка, %, пребіотику	Кількість мікроорганізмів, КУО/г
СК1	Лактулоза, 30	Біфідобактерії, 10^8
СК2	Лактулоза + інулін, 30 + 20	Пробіотичні культури (біфідобактерії – 5×10^7 та лактобактерії – 3×10^8)
СК3	Інулін, 20	Біфідобактерії, 10^7

Жирові начинки – це двофазні системи кремуватої консистенції, що складаються з однорідної жирової фази з диспергованими компонентами. Визначено агрегатний стан жиру, потрібний для розведення начинки. Зразки вафельної начинки із СК готували із застосуванням розплавленого, пластифікованого і змішаного жирів (співвідношення розплавленого і пластифікованого жиру 1:1). Результати оцінювали за густиною начинки (рис. 18).

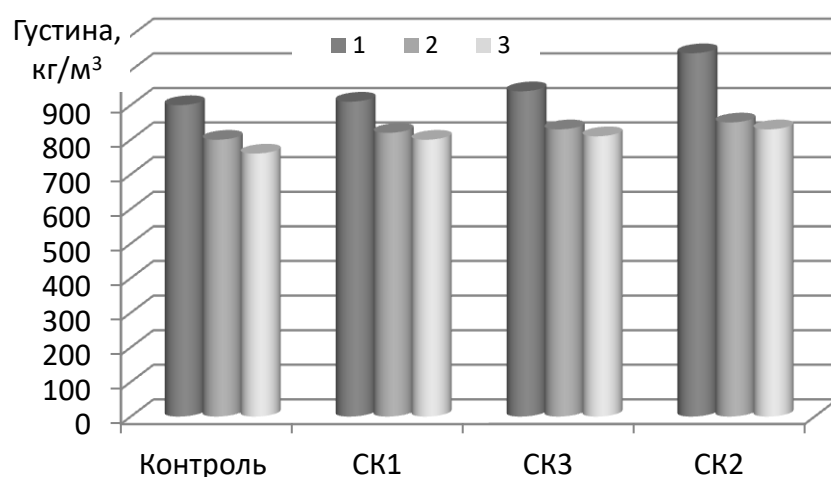


Рис. 18. Залежність густини начинки із СК від агрегатного стану жиру (1 - розплавлений; 2 - суміш розплавленого і пластифікованого 1:1; 3 - пластифікований)

Експериментальні дані свідчать, що усі зразки начинки з меншою густиною здобувають у разі використання жиру в пластичному стані, а з найбільшою – за умови використання жиру в розплавленому. Отже, готуючи начинку, доцільно для розведення використовувати жир у пластичному стані.

При внесенні до складу начинки синбіотиків відбувається більшання густини начинки порівняно з контрольним зразком. Найвища густина начинки у

зразку з уведенням СК2, до складу якого входять суміш лактулози і інуліну. Така тенденція пояснюється тим, що жир сприяє насиченню маси повітрям, а у дослідних зразках відбувається заміна частини жиру інуліном, що призводить до меншання кількості повітря в начинці та підвищенню її густини. Однак, коли в рецептуру вводять лактулозу і замінюють нею частину цукрової пудри, одержують систему з різним розміром часток твердої фази, і жировий компонент не може рівномірно огортати частинки та утримувати пухирці повітря, що і призводить до більшання густини начинки.

Визначили густину начинки для одержання вафельних пластів постійної ваги з раціональним співвідношенням вафельного листа і начинки. Для цього начинки з різною густиною (1100 кг/м³, 940 кг/м³ і 800 кг/м³) наносили на вафельний лист «в потоці» контактним способом (табл. 10).

Таблиця 10

Витрати начинки під час формування вафельного пласта ($n = 5, p \leq 0,05$)

Густина начинки, кг/м ³	Маса начинки, яку наносять на вафельний лист, г										Відхилення, %
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1100	159,3	149,3	154,7	151,4	157,3	159,8	158,4	158,6	161,5	155,5	2,0
940	157,8	155,7	157,2	157,6	154,3	158,2	156,8	158,6	158,3	156,9	0,5
800	155,7	156,4	155,6	156,0	156,2	155,9	156,5	157,1	155,0	156,3	0,3

Визначено, що при нанесенні начинки густиною 1100 кг/м³ на вафельні листи відсоток відхилень становить 2,0 %, а з меншою густиною (800 кг/м³) – 0,3 %. Тому для зниження відхилень за масою вафельного пласта, необхідно готувати начинку з меншою густиною, а це можливо, коли при приготуванні начинки використовують жир у пластифікованому стані.

Експериментально встановлено, що для точнішого дозування вафельної начинки і рівномірного розподілення її по поверхні вафельного листа потрібно виготовляти начинку з густиною 700...800 кг/м³, що дозволить змінити співвідношення вафельний лист:начинка з 20:80 на 30:70.

Встановлено зв'язок між показником густини вафельної начинки і характеристикою повітряної фази (розміри і кількість пухирців повітря) (табл. 11, рис. 19).

Таблиця 11

Залежність густини начинки від кількісної характеристики повітряної фази

Густина начинки, кг/м ³	Загальна кількість пухирців, шт
750 (контрольний зразок)	94
800 (зразок з СК3)	86
820 ((зразок з СК1)	43
870 (зразок з СК2)	36

Як впливає з результатів, з вищінням густини начинки кількість пухирців повітря меншає з 94 в контрольному зразку до 36 у зразку з СК2, густина якого найбільша. У контрольному зразку повітряні пухирці більш рівномірно розподілені по всій поверхні зразка і мають практично однакові розміри. У дослідних зразках пухирці розташовано групами, є місця, де зовсім відсутні пухирці повітря, вони мають неоднаковий розмір. Отже, здобуті результати дали змогу стверджувати, що стан повітряної фази (кількість і розміри пухирців повітря) є непрямою характеристикою якості начинки для вафель.

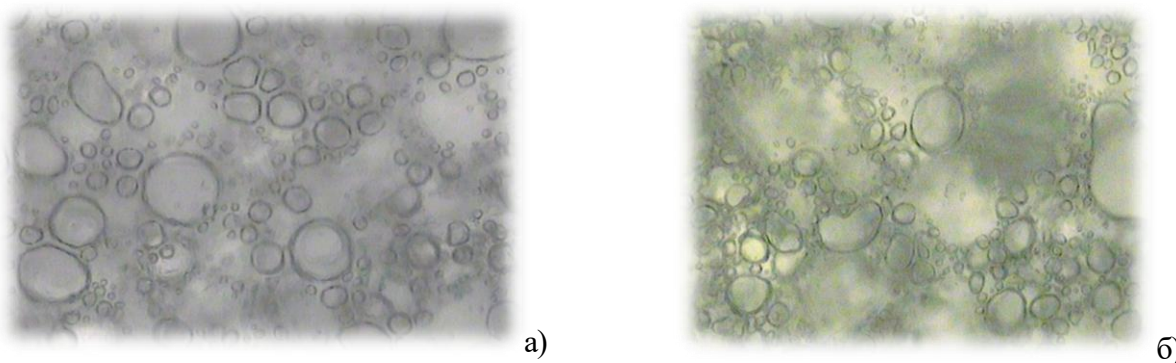


Рис. 19. Розподіл пухирців повітря у вафельній начинці (збільшення 600х): а) контроль; б) СК2

Таблиця 12

Значення коефіцієнту розподілення рецептурних компонентів (P) у начинці ($n = 5, p \leq 0,05$)

Назва зразку	P, %
Контрольний	96,0
Жирова начинка із СК1	94,5
Жирова начинка із СК2	93,6
Жирова начинка із СК3	95,0

Визначено рівномірність розподілення рецептурних компонентів у всьому обсязі начинки, яка характеризується коефіцієнтом рівномірності P (%) (табл. 12).

Значення коефіцієнту розподілення рецептурних компонентів у всіх дослідних зразках становить понад 90 %, що свідчить про одержання од-

норідної, якісної начинки з додаванням СК.

На рис. 20 унаочнено, що введення до начинки синбіотичних комплексів призводить до вищання в'язкості дослідних зразків. Це, ймовірно, відбувається

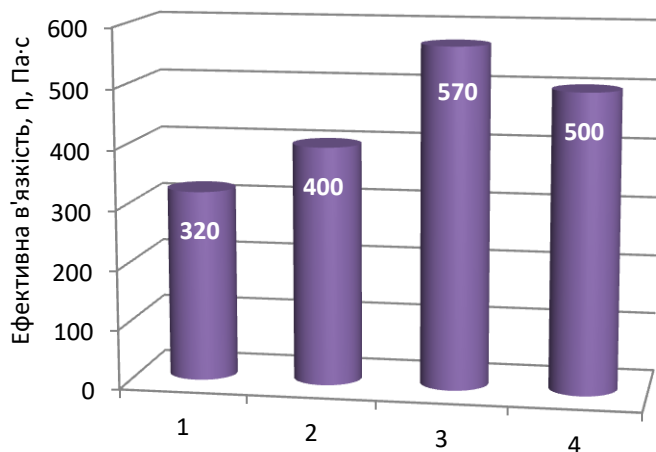


Рис. 20. Вплив синбіотичних комплексів на зміну ефективно в'язкості вафельної начинки з незруйнованою структурою при швидкості зсуву $0,1667 \text{ c}^{-1}$: 1 – контроль; 2 – з СК1; 3 – з СК2; 4 – з СК3

тому, що за умови введення до складу жирової маси лактулози (СК1) збільшується концентрація твердої фази в рідкому жировому середовищі і, відповідно, зростає величина активної міжфазної поверхні, що призводить до більшання молекулярних сил зчеплення між частинками, внаслідок чого вищас ступінь структуротворення порівняно з контрольним зразком. Збільшення в'язкості жирової начинки із СК3, ймовірно, пов'язано з тим, що коагуляційна структура, яку утворює дисперсне середовище, виникає за умови зчеплення частинок сахарози через тонкі прошарки дисперсійного середовища (жиру). З меншанням вмісту жиру в начинці жировий прошарок між частинками стає тоншим, відбувається зміцнення структури і коагуляційних контактів. Найбільше підвищення в'язкості жирової начинки відбувається у дослідного зразка з введенням СК2, до складу якого входить суміш інуліну і лактулози. Ймовірно, це відбувається через синергичний ефект – за рахунок більшання молекулярних

сил зчеплення між частинками та меншання жирового прошарку між частинками середовища.

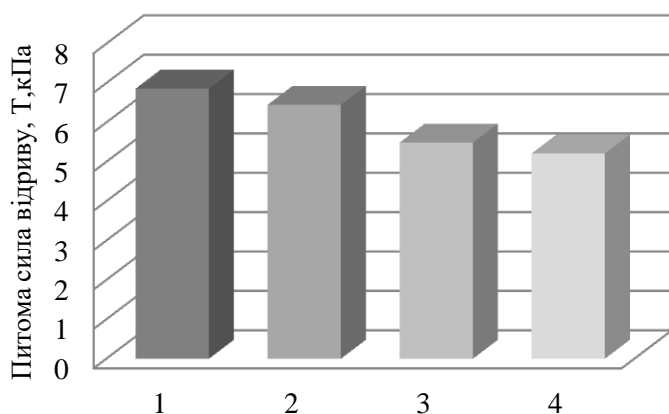


Рис. 21. Залежність питомої сили відриву T начинки від вмісту синбіотичного комплексу: 1 – контроль; 2 – СК1; 3 – СК3; 4 – СК2

самі і встановлено підвищення структурної міцності дослідних зразків, наслідком чого стає скорочення тривалості вистоювання вафельних пластів з 18 хв у контрольному зразку до 14, 12 та 10 хв відповідно у дослідних зразках із СК1, СК3 та СК2. Зміцнення структури дослідних зразків начинки можна пояснити присутністю різних за своєю природою і фізико-хімічними властивостями частинками (сахароза і лактулоза), які по-різному впливають на характер з'єднань і міцність агрегативних утворень структури начинки. Енергія зв'язку частинок у коагуляційних контактах, як відомо, залежить від природи речовини дисперсної фази і дисперсійного середовища. Що більш полярна одна з них, то вищий поверхневий натяг на межі між ними. Що більша різниця полярностей між дисперсійним середовищем і частинками, то сильніша тенденція частинок до агрегації. Зважаючи на те, що поверхня частинок лактулози має більшу гідрофільність і здатність утворювати ліофобні зв'язки, тому при її додаванні відбувається підвищення міцності контактів, що призводить до зміцнення структури.

Отже, в результаті комплексу проведених досліджень розроблено нові види вафель із синбіотиком: «Фантазія» (СК1), «Гармонія смаку» (СК2), «Перлінка» (СК3). У розроблених рецептурах вафель завдяки внесенню пребіотиків відбувається зниження вмісту цукру і жиру. Так, у вафель «Фантазія» знижено кількість цукру на 25 %; у вафель «Перлінка» зменшено кількість жиру на 20 %; у вафель «Гармонія смаку» – знижено цукру на 30 % і жиру – на 20 %.

У процесі зберігання вразлива до псування жирова фракція вафельних виробів (начинка). Оскільки за величиною перекисного числа можна висновувати про свіжість жиру задовго до появи неприємного смаку і запаху, визначено зміну перекисного числа у дослідних зразках вафель протягом усього терміну зберігання, тобто динаміку накопичення первинних продуктів окислення жиру (табл. 13).

Як свідчать експериментальні дані, наприкінці терміну зберігання значення перекисного числа дослідних зразків вафель було меншим за контрольний: у вафель «Перлінка» – у 2,2 рази; вафель «Гармонія смаку» – у 1,9 рази; вафель «Фантазія» – у 1,6 рази, що значно підвищує якість дослідних зразків

Встановлено зниження адгезійної міцності дослідних зразків порівняно з контролем (рис. 21). Очевидно, характер здобутих залежностей можна пояснити не лише адгезійним процесом, але й релаксацийними явищами, що протікають у масі у разі контактування поверхонь.

Вивчено процес структуротворення жирової начинки із синбіотичними комплексами

готових виробів. Одержані результати вказують, що інулін і лактулоза, які входять до складу синбіотичних комплексів, здійснюють антиокислювальний вплив на жирову фазу начинки, зв'язуючи вільну вологу і зменшуючи гідролітичні процеси в жировій фазі, що, своєю чергою, призводить до нижчання швидкості реакції окислення.

Таблиця 13

Зміна перекисного числа жиру в процесі зберігання ($n = 3, p \leq 0,05$)

Час зберігання, діб	Контроль	Перлінка	Гармонія смаку	Фантазія
	Перекисне число, мг I ₂			
0	0,025	0,017	0,019	0,020
15	0,035	0,017	0,019	0,021
30	0,04	0,018	0,021	0,023
45	0,045	0,02	0,023	0,025
60	0,05	0,022	0,025	0,028
75	0,053	0,023	0,027	0,032
90	0,056	0,025	0,029	0,036

Біологічними методами проведено оцінку безпеки та органічності вафельних виробів: біотестування тест-організмами, метод біокристалізації, оцінка натуральності відповідно до значення окисно-відновного потенціалу. Біотестування за допомогою тест-об'єктів дозволило виявити дози токсикантів, які не можна знайти за допомогою сучасних інструментальних методів.

Результати біотестування досліджуваних зразків вафельних виробів за біосенсорами *Colpoda steinii* уточнено у табл. 14.

Таблиця 14

Оцінка комплексних показників безпеки вафель із синбіотиком за біосенсорами *Colpoda steinii*

Зразок	Показник	Токсичність	Бал
	Водний екстракт вафель		
Контроль	Впродовж 3 годин рухливими залишилось 80 % колпод	Продукт слаботоксичний	0,5
Жирова начинка із СК1	Впродовж 3 годин рухливими залишилось 95 % колпод	Продукт слаботоксичний	0,75
Жирова начинка із СК2	Впродовж 3 годин рухливими залишились усі колподи	Продукт нетоксичний	1
Жирова начинка із СК3	Впродовж 3годин рухливими залишились усі колподи	Продукт нетоксичний	1

На підставі здобутих показників можна стверджувати: за умови введених в рецептуру начинки інуліну або суміші інуліну й лактулози та мікрокапсульованих бактерій у начинці удвічі меншає концентрація токсичних речовин полярної природи і продукт стає нетоксичним.

Таблиця 15

Оцінка значення окислювально-відновного потенціалу вафель

Назва зразка	Значення ОВП, мВ	Бали
Контрольний зразок	248	0,5
Жирова начинка із СК1	190	0,5
Жирова начинка із СК3	170	0,5
Жирова начинка із СК2	145	1

Встановлено (табл. 15), що у дослідних зразках відбувається меншання значення окислювально-відновного потенціалу

лу. Отже, можна констатувати, що введення синбіотичних комплексів приводить до одержання натуральних вафельних виробів, споживання яких знизить витрату енергії клітинних мембран на корекцію активності електронів.

Одержано біокристалограми структури вафельних начинок зі внесенням синбіотичних комплексів (рис. 22). Здобуті результати дають змогу стверджувати: найбільш симетричною і чіткою біокристалограмою характеризується зразок начинки з СК2, що вказує на його найвищий ступінь органічності. Цей зразок характеризується щільною структурою і прямими голками. Біокристалограма з уведенням СК3 також характеризується наявністю симетричних і прямих голок, але є і декілька голок з розгалуженням різної довжини, які збігаються в центрі краплини. Зразок біокристалограми із СК1 має значну кількість голок з розгалуженнями різної довжини, які сходяться в центрі краплини, він також має прямі та симетричні голки, проте їх кількісно менше від зразків із СК2 і СК3.

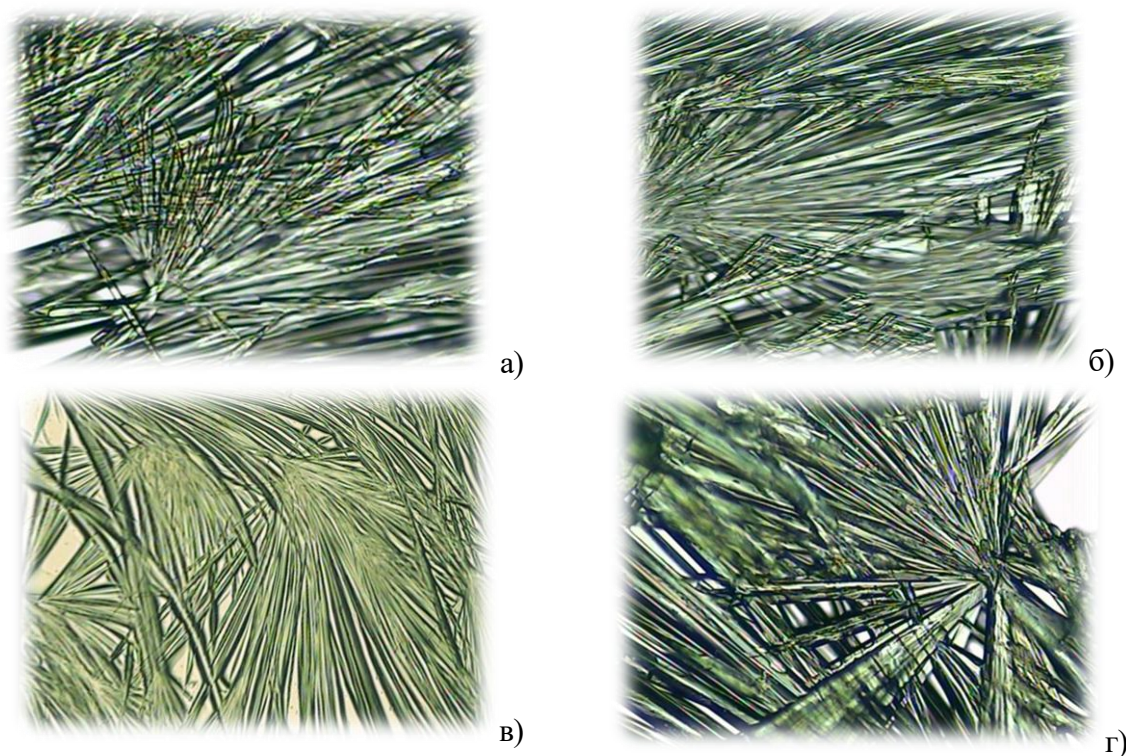


Рис. 22. Біокристалограми жирової начинки із синбіотичними комплексами (збільшення 700х): а) контрольний зразок; б) із СК1; в) із СК2; г) із СК3

Відтак, результати комплексних експериментів дають змогу впевнено стверджувати, що одержані вафельні вироби із синбіотиками високої якості зберігають споживчі властивості протягом усього терміну зберігання, оскільки вони не втрачають своїх хрустких властивостей, вони безпечні з огляду на уповільнення окислювальних процесів, натуральні, мають оригінальні смакові переваги завдяки послабленню нудотно солодкого смаку і жирового присмаку.

У розділі 6 «Оцінка ефективності кондитерських виробів з синбіотиками та їх соціальна значимість і технічна новизна» теоретично обґрунтовано та розроблено методологічні принципи створення технології кондитерських виробів із синбіотиками, оцінено фізіологічну активність розроблених кондитерських виробів із СК, а також економічну ефективність від упровадження ро-

зроблених технологій у виробництво та визначено соціальне значення вдосконалених технологій.

Методологічні принципи практично реалізовані у розробленні нових технологій кондитерських виробів із синбіотичними комплексами з висвітленням особливостей їхнього виробництва (рис. 23).

Медико-біологічні дослідження довели позитивний ефект введення синбіотичних комплексів до складу помадних цукерок, зефіру, мармеладу та вафель. Про це свідчать результати визначення бактеріальної контамінації запалення у слизовій товстої кишки лабораторних тварин, а саме зменшення показників активності уреазу, яка є маркером цілого ряду умовно-патогенних бактерій, та активності кислій фосфатази й еластази – маркерів запалення. Отже, введення синбіотичних комплексів до складу КВ уможливить надання їм лікувально-профілактичних властивостей, упродовжуючи чітко виражену протизапальну, антиоксидантну та антидисбіотичну дію, відновлюючи кишкову мікробіоту.



Рис. 23. Методологічні принципи створення технології кондитерських виробів із СК

Технічну новизну проведених досліджень підтверджено 9 патентами України.

Показники економічної ефективності нових видів КВ із синбіотиками (табл. 16) свідчать про інвестиційну привабливість запропонованих технологій кондитерської продукції.

Таблиця 16
Економічна ефективність кондитерських виробів із СК

Найменування виробів	Індекс доходності	Термін окупності, рік
Цукерки «Дует-Н»	2,2	0,45
Зефір «Корисний»	1,83	0,54
Мармелад «Живинка»	2,04	0,49
Вафлі «Фантазія», «Перлінка», «Гармонія смаку»	1,8	1,1

Розроблено у процесі виконання теоретичних і експериментальних досліджень нові технології, елементи яких апробовано на кондитерських підприємствах України: ЗАТ «Одесакондитер», ТзОВ «Агробізнес», пекарні «Піщанська», ТОВ «Чарівний каравай» та запроваджено на ті самі підприємства. Одержані результати використовують в освітньому процесі, зокрема для підготовки магістрів.

Асортимент розроблених кондитерських виробів з використанням синбіотичних комплексів наведено в табл. 17.

Таблиця 17

Асортимент розроблених функціональних кондитерських виробів з використанням синбіотиків

Найменування ФКВ	Функціональний інгредієнт	Масова частка ФІ, %	Матеріал матриці мікрокапсули	Нормативний або охоронний документ
Високоцукристі КВ				
Помадні цукерки «Турботливі»	Синбіотичний комплекс (лактоулоза + мікрокапсульовані лактобактерії)	Лактулоза – 7,5 % + Лактобактерії – $5 \cdot 10^9$ КУО/г або біфідобактерії – 10^7 КУО/г	Суміш пектину та хітозану	Заявка на патент на винахід, НД на дослідну партію
Помадні цукерки «Дует-Н»	Синбіотичний комплекс (лактоулоза + мікрокапсульовані лактобактерії)	Лактулоза – 7,5 % + лактобактерії – $4 \cdot 10^9$ КУО/г	Пектин	Патент 77558 Проект НД на дослідну партію
Низькоцукристі КВ				
Зефір «Корисний»	Синбіотичний комплекс (лактоулоза + мікрокапсульовані біфідобактерії або лактобактерії)	Лактулоза – 7,5 % + біфідобактерії – 10^7 КУО/г або лактобактерії 10^9 КУО/г	Пектин	Патент 97812 Проект НД на дослідну партію
Мармелад «Живинка»	Синбіотичний комплекс (лактоулоза + мікрокапсульовані біфідобактерії)	Лактулоза – 10 % + біфідобактерії – 10^7 КУО/г	Пектин або суміш пектину та хітозану	Патент 79876 НД на дослідну партію
Борошняні кондитерські вироби (вафлі)				
Вафлі «Фантазія»	Синбіотичний комплекс (лактоулоза + мікрокапсульовані біфідобактерії)	Лактулоза – 30 % + біфідобактерії – 10^8 КУО/г	Пектин або суміш пектину та хітозану	Патент 129177 НД на дослідну партію
Вафлі «Перлінка»	Синбіотичний комплекс (инулін + мікрокапсульовані біфідобактерії)	Інулін – 20 % + біфідобактерії – 10^7 КУО/г	Пектин	Патент 118708 НД на дослідну партію
Вафлі «Гармонія смаку»	Синбіотичний комплекс (суміш інуліну і лактулози + пробіотичні бактерії)	Інулін (20 %) + лактулоза (30%), пробіотичні культури (біфідо- 5×10^7 та лактобактерії – 3×10^8) КУО/г	Пектин	Патент 129178 НД на дослідну партію

Соціальне значення розроблених КВ із синбіотиками полягає в розширенні асортименту цукристих і борошняних кондитерських виробів зі зниженим цукро- та жировмістом і покращеними фізіологічними властивостями, які спрямовані на нормалізацію мікрофлори кишечника та профілактику дисбіотичних станів.

ВИСНОВКИ

На підставі теоретичних узагальнень та комплексу експериментальних досліджень сформульовано, обґрунтовано та реалізовано концепцію з розроблення технології комбінованого капсулювання пробіотичних мікроорганізмів для їхнього «захисту» від дії стресових навантажень та технологій різних видів кондитерських виробів з використанням створених на основі мікрокапсул синбіотичних комплексів.

1. Аналітичний огляд літератури та узагальнення наукової інформації дали змогу встановити доцільність виробництва кондитерських виробів з використанням синбіотиків у їхньому складі для надання функціональних властивостей, зокрема для корегування і нормалізації мікрофлори людини, виявити основні напрями і проблеми використання про-, пребіотиків і синбіотиків в технології цих виробів та обґрунтувати заходи, спрямовані на вицання виживаності пробіотичних культур, збільшення ефективності їхньої фізіологічної дії у складі кондитерської продукції.

2. На підставі технологічних, екологічних та фізіологічних властивостей теоретично і практично обґрунтовано вибір біополімерів для розв'язання завдання по створенню захисної матриці для живих клітин пробіотиків – пектину і хітозану, встановлено їхнє співвідношення у композиції 1:1, схарактеризовано технологічність отриманих капсул для використання у кондитерських масах. Доведено методами віскозиметрії та ІЧ-спекроскопії, що під час взаємодії пектину й хітозану утворюється інтерполіелектролітний комплекс (ІПЕК). Науково підтверджено, що у формуванні ІПЕК хітозан-пектин беруть участь електростатичні, гідрофобні, водневі та ковалентні зв'язки. Унаочнено модель формування поліелектролітних контактів між хітозаном (полікатіон) і пектином (поліаніон).

3. Розроблено та науково обґрунтовано технологію мікрокапсулювання за комбінованим способом – іммобілізація в гель і мікрокапсулювання. Визначено, що відсоток захоплених клітин мікроорганізмів у пектинову матрицю становить 88 %, а в пектин-хітозанову – 96 %. Встановлено, що вивільнення *Lactobacillus acidophilus* та *Bifidobacterium bifidum* у середовищі тонкого кишечника із мікрокапсул з пектиновою матрицею відбувається протягом 90 хв, а із пектин-хітозанової – за 150 хв. Підтверджено *in vitro*, що інкапсулювання мікроорганізмів в матриці значно підвищує їх виживаність у разі дії несприятливих чинників шлунково-кишкового тракту (ШКТ), а саме за умови дії шлункового соку – у 4 рази, а жовчі – у 5 разів. Вивчено стійкість мікрокапсульованої системи під час зберігання і встановлено, що синбіотики з пектиновою матрицею

здатні зберігатись без зміни реологічних і органолептичних показників протягом 7 тижнів, а з пектин-хітозановою – протягом 8 тижнів.

4. Аналітично обґрунтовано вибір групи кондитерських виробів для внесення синбіотиків та виду пребіотиків для розроблення синбіотичних комплексів. Встановлено закономірності впливу технологічних факторів (температури, механічної дії, вмісту цукру і жиру) на життєздатність інкапсульованих пробіотиків у різні види матриць, що стало підставою для розроблення рекомендацій з використанням мікрокапсул (синбіотиків) залежно від складу матриць, пребіотиків та стадії внесення їх у технології кондитерських виробів.

5. Розроблено синбіотичний комплекс (СК) для високоцукристих кондитерських виробів, який складається із синбіотику (мікрокапсульовані біфідо- або лактобактерії у пектинову або пектин-хітозанову матриці) та пребіотику лактулози. Уведення СК до складу помадних цукерок супроводжується зниженням в'язкості на 22 % і підвищенням адгезійної міцності мас, що вказує на доцільність їхнього формування відливанням у силіконові форми. Встановлено незначне (на 5 хв) уповільнення процесу структуротворення і зменшення розмірів кристалів у цукерках із СК, що обумовлює вищання дисперсності структури і поліпшення смакових якостей виробів. Показано, що використання у виробництві помадних цукерок СК із вмістом лактулози 7,5 % від маси сухих речовин сприяє нижчання їхньої цукромісткості (на 7 %), гальмуванню процесу «черствіння» – твердість цукерок із СК у 1,7 раза нижча від контрольного зразка.

6. Встановлено, що внесення СК на основі лактулози у рецептуру зефіру зумовлює зниження густини маси на 5...12 %, підвищує стійкість піни, сприяє одержанню зефірної маси більш однорідної та дрібнодисперсної структури – розмір повітряних крапель зменшився в середньому вдвічі, тривалість структуротворення скорочується на 20 хв. Подано математичні моделі, які дають змогу визначити оптимальне значення факторів виробництва зефіру із СК за показником густини та органолептичною оцінкою: масова частка лактулози – 7,5 %; час збивання зефірної маси за температури 38 °С – 4 хв та інтенсивність збивання – 400 об/хв, що забезпечує отримання піноподібних виробів з дрібнопористою структурою і густиною 380 ± 20 кг/м³ та зниженою на 10 % цукромісткістю.

Доведено, що введення до складу мармеладної маси 10 % лактулози та мікрокапсульованих біфідобактерій (10^7 КУО/г) сприяє зниженню в'язкості мармеладної маси у 2 рази, що позитивно впливає на процес її формування методом відливання, призводить до незначного більшання тривалості структуротворення (на 2 хв), уможливорює зменшити вміст цукру на 12 %, покращити споживчі характеристики та мікробіологічну безпеку готових виробів. Доведено, що процес мікрокапсульювання забезпечує «захист» живих клітин біфідо- та лактобактерій – кількість життєздатних клітин біфідо- та лактобактерій у желевному формовому мармеладі наприкінці терміну зберігання відповідає фізіологічно активному рівню.

7. Обґрунтовано доцільність використання розроблених синбіотичних комплексів (СК1, СК2 та СК3) у технології жирової начинки для вафельних

виробів. Здобує наукове підтвердження залежності якості досліджуваної начинки від агрегатного стану жиру та характеристики повітряної фази. Показано, що синбіотичні комплекси у рецептурі жирової начинки значно підвищують пластичну міцність начинки порівняно з контрольним зразком, внаслідок чого скорочується тривалість вистоювання вафельних пластів з 18-20 хв у контрольному зразку – до 10-14 хв у зразках з уведенням СК2, СК3, СК1. Доведено збереженість вафель із СК протягом терміну зберігання завдяки уповільненню окислювального псування жирів та стабілізації їхньої жирової фази, гальмуванню глибоких фізико-хімічних перетворень та мінімізації мікробної контамінації продукції. Визначено зниження кількості цукру на 25 % у вафель «Фантазія», меншання жиру на 20 % у вафель «Перлінка» та у вафель «Гармонія смаку» зниження цукру на 30 % і жиру на 20 %.

8. На підставі медико-біологічних досліджень доведено фізіологічну ефективність і безпечність кондитерських виробів із синбіотиками (помадні цукерки, зефір, мармелад, вафлі) за умови нормалізації кишкової мікробіоти та профілактиці дисбіотичних станів. Підтверджено методом біотестування покращення натуральності та органічності розроблених вафельних виробів.

9. За результатами комплексу теоретичних експериментальних досліджень запропоновано основні методологічні принципи створення технологій кондитерських виробів із синбіотичними комплексами. Розроблено та удосконалено технології нових кондитерських виробів: помадні цукерки «Дует-Н» і «Турботливі»; зефір «Корисний», мармелад «Живинка», вафлі «Перлінка», «Фантазія» та «Гармонія смаку» апробовано і впроваджено на ЗАТ «Одесакондитер», ТЗОВ «Агробізнес», у пекарні «Піщанська», ТОВ «Чарівний каравай». Економічні показники свідчать про інвестиційну привабливість розроблених технологій кондитерських виробів, під час запровадження яких термін окупності та індекс доходності відповідно становитимуть: 0,45 року і 2,2 для помадних цукерок «Дует-Н»; 0,54 року і 1,83 для зефіру «Корисний»; 0,49 року і 2,04 для мармеладу «Живинка»; 1,1 року і 1,8 для вафель «Перлінка», «Фантазія», «Гармонія смаку».

Соціальне значення розроблених кондитерських виробів із синбіотиками полягає в розширенні асортименту цукристих та борошняних кондитерських виробів зі зниженим цукро- та жировмістом, продукцією функціонально спрямованості, зокрема для людей з проблемами ШКТ.

**СПИСОК ПРАЦЬ,
ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ
Статті у фахових виданнях України, що цитуються у
наукометричних базах Scopus та Web of science**

1. Korkach H. Research into effect of the synbiotic complex on the quality of a fat filling for waffles // Eastern-European Journal of enterprise technologies. 2017. № 5/11 (89). P. 18-25. doi: 10.15587/1729-4061.2017.110598. (*Scopus*)
2. Lebedenko T., Korkach H., Kozhevnikova V., Novichkova T. Methods of regulating physical properties of dough using phytoextracts // Food science and tech-

nology. 2018. Vol. 12, Issue 4. P. 52-62. doi: <https://dx.doi.org/10.15673/fst.v12i4.1182>. (*Web of science*)

3. Iorgacheva E., Korkach H., Lebedenko T., Kotuzaki O. Synbiotic additives in the waffles technology // Food science and technology. 2019. Vol. 13, Issue 1. P. 19-26. doi: <http://dx.doi.org/10.15673/fst.v13i1.1310>. (*Web of science*)

4. Iorgachova E., Korkach H., Lebedenko T., Kotuzaki O. An innovative technology of waffle products with functional properties // Food science and technology. 2020. Vol. 14, Issue 1. P. 98-108. doi: <http://doi.org/10.15673/fst.v14i1.1645>. (*Web of science*)

Статті у фахових виданнях України

5. Иоргачева Е.Г., Коркач А.В., Аветисян К.В. Структурно-реологические свойства пенообразных масс // Пищевая наука и технология. 2009. № 1(6). С. 30-33.

6. Коркач А.В., Новичкова Т.П., Леbedenko Т.Е., Кеслер М.Н. Использование пробиотиков и пребиотиков в технологии кондитерских изделий. // Пищевая наука и технология. 2011. № 1(14). С. 9-13.

7. Коркач А.В., Егорова А.В., Кеслер М.Н. Разработка технологии функционального желейного мармелада с синбиотическими свойствами // Наукові праці ОНАХТ. 2011. Т. 1. Вип. 40. С. 170-175.

8. Коркач А.В., Егорова А.В., Киртока И.О. Изменение качества желейного мармелада с синбиотическим комплексом в процессе хранения // Пищевая наука и технология. 2012. № 1(18). С. 7-11.

9. Коркач А.В., Егорова А.В., Муратов В.Г., Киртока И.О. Структурно-механические свойства помадных конфет с синбиотической добавкой // Наукові праці ОНАХТ. 2012. Т. 1. Вип. 42. С. 197-202.

10. Коркач А.В., Пшенишнюк Г.Ф., Пальчук С. Экспериментально-статистическое обоснование технологии зефира с синбиотическим комплексом // Наукові праці ОНАХТ. 2013. Т. 1. Вип. 44. С. 100-103.

11. Коркач А.В., Крусир Г.В., Егорова А.В. Обоснование метода иммобилизации микроорганизмов и их применение в технологии кондитерских изделий // Пищевая наука и технология. 2013. № 1(22). С. 35-38.

12. Коркач Г.В., Павловський С.М., Боровик І.О. Зміна структурно-реологічних властивостей зефіру з синбіотичним комплексом // Пищевая наука и технология. 2014. № 1(26). С. 63-67.

13. Коркач А.В., Крусир Г.В., Боровик И.А. Перспективы использования синбиотического комплекса в технологии зефира функционального назначения // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2014. № 2/12 (68). Ч. 2. С. 127-133.

14. Korkach H., Krusir G. Development of innovative technologies of fondant candies with synbiotics // Technology audit and production reserves. 2017. № 1/3 (33). С. 50-55. doi:10.15587/2312-8372.2017.93806.

15. Коркач Г.В., Леbedenko Т.Є., Карацуба Н.Л. Зміна якості вафельних виробів з синбіотиком при зберіганні // Наукові праці НУХТ, 2018, т.24, №5. С. 163-170. doi: 10.24263/2225-2924-2018-24-5-20.

16. Коркач Г.В., Котузаки О.М., Толстих В.Ю., Шунько Г.С. Дослідження процесу піноутворення зефірної маси з синбіотиком // Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С.З. Гжицького. Серія: Харчові технології. 2020. Т. 22, №94, С. 80-86. doi: 10.32718/nvlvet-f9415.

17. Korkach H., Iorgachova E., Kotuzaki O. Modification properties of confectionary flour products with synbiotic // Grain products and mixed fodder's. 2020. Vol. 20, Issue 4(80), P. 18-23.

Статті в наукових виданнях іноземних держав

18. Коркач А.В. Новые виды пастило-мармеладных изделий на основе синбиотического комплекса // Известия Национального аграрного университета Армении. 2013. № 4. С. 119-121.

19. Коркач А.В. Научное обоснование использования синбиотического комплекса в технологии помадных конфет // Международный научный институт «Educatio». 2015. № 8(15), Ч. 2. С. 70-73

20. Коркач А.В. Влияние синбиотического комплекса на качество желеино-мармелада // Novation. 2016. № 5. С. 75-78.

21. Korkach H. Investigation of changes of structural-mechanical properties of fatty filling for sinbiotic wafers // EUREKA: Life Sciences. 2017. № 5 (11). С. 61-68.

Патенти

22. Спосіб іммобілізації мікроорганізмів: пат. на корисну модель 67252 Україна, МПК С12N 11/00 (2012.01) / Коркач Г.В., Кеслер М.Н.; власник ОНАХТ. № u201108849; заявл. 14.07.2011; опубл. 10.02.2012, Бюл. № 3.

23. Спосіб виробництва помадних цукерок: пат. на корисну модель 77558 Україна, МПК А23G 3/00 (2013.01) / Коркач Г.В., Киртока І.О.; власник ОНАХТ. № u201206905; заявл. 05.06.2012; опубл. 25.02.2013, Бюл. № 4.

24. Спосіб виробництва мармеладу желеино-формового: пат. на корисну модель 79876 Україна, МПК А23G 3/00 (2013.01) / Коркач Г.В., Киртока І.О., Кеслер М.Н.; власник ОНАХТ. № u201209772; заявл. 13.08.2012; опубл. 13.05.2013, Бюл. № 9.

25. Композиція інгредієнтів для приготування зефіру: пат. на корисну модель 97812 Україна, МПК А23G 3/00 (2015.01) / Коркач Г.В., Пальчук С.О.; власник ОНАХТ. № u201410105; заявл. 15.09.2014; опубл. 10.04.2015, Бюл. № 7.

26. Композиція інгредієнтів для виробництва жирової начинки для вафель: пат. на корисну модель 108609 Україна, МПК А23G 3/50 (2006.01), А21D 13/08 (2006.01) / Коркач Г.В., Кушнір Ю.Р.; власник ОНАХТ. № u201600394; заявл. 18.01.2016; опубл. 25.07.2016, Бюл. № 14.

27. Композиція інгредієнтів для виробництва жирової начинки для вафель: пат. на корисну модель 118708 Україна, МПК А21D 13/36 (2017.01), А23G 3/40 (2006.01), А23L 33/135 (2016.01) / Коркач Г.В., Кушнір Ю.Р., Пала-

марчук Б.В.; власник ОНАХТ. № u201701335; заявл. 13.02.2017; опубл. 28.08.2017, Бюл. № 16.

28. Композиція інгредієнтів для виробництва жирової начинки для вафель: пат. на корисну модель 129177 Україна, МПК А21D 13/062 (2017.01) / Коркач Г.В., Паламарчук Б.В., Дубасова Л.С.; власник ОНАХТ. № u201803905; заявл. 11.04.2018; опубл. 25.10.2018, Бюл. № 20.

29. Композиція інгредієнтів для виробництва жирової начинки для вафель: пат. на корисну модель 129178 Україна, МПК А21D 13/062 (2017.01) / Коркач Г.В., Паламарчук Б.В., Дубасова Л.С.; власник ОНАХТ. № u201803906; заявл. 11.04.2018; опубл. 25.10.2018, Бюл. № 20.

30. Спосіб одержання мікрокапсул з лакто- або біфідобактеріями: пат. на корисну модель 138809 Україна, МПК А61К 9/50 (2006.01), А61К 35/74 (2015.01) / Іоргачова К.Г., Коркач Г.В., Шевцова Д.П.; власник ОНАХТ. № u201905453; заявл. 21.05.2019; опубл. 10.12.2019, Бюл. № 23.

Тези та матеріали наукових конференцій

31. Коркач А.В., Крусир Г.В., Кеслер М.Н. The use of immobilized forms of probiotic bacteria in the production of gelly marmalade // Хранителна наука, техника и технологии 2011: сб. материалов науч. конф. / Пловдив, 2011, том LYIII. С. 356-360.

32. Коркач А.В., Крусир Г.В., Пальчук С.А. Изменение реологических свойств полуфабрикатов помадных конфет с синбиотическим комплексом // Третья науч.-практ. конференция с международным участием «Управление реологическими свойствами пищевых продуктов», научная конференция молодых ученых и специалистов. Сборник материалов / Отв. ред., д.т.н., проф.. Мачихин С.А. М.: Издательский комплекс МГУПП, 2012. С. 166-175.

33. Коркач А.В., Новичкова Т.П., Пальчук С.А. Функциональные кондитерские изделия с использованием инкапсулированных пробиотических микроорганизмов // Вузовская наука Северо-Кавказскому федеральному округу. Материалы Всероссийской науч.-практ. конф. 9-10 апреля 2013 г. Секция с международным участием «Инновационные направления в пищевых технологиях». Том 3 – Технические науки. Пятигорск: РИА-КМВ. 2013. С. 145-149.

34. Коркач А.В., Боровик И.А. Разработка синбиотической добавки и влияние ее на физико-химические свойства зефирной массы // Пищевые инновации и биотехнологии: материалы международной научн. конф. / под. общ. Ред. А.Ю. Просекова; ФГБОУ ВПО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности». Кемерово, 2014. Т.1. С. 105-107.

35. Коркач Г.В., Муратов В.Г., Киртока І.О. Розробка технології помадних цукерок функціонального призначення // Новітні тенденції у харчових технологіях та якість і безпечність продуктів: зб. матеріалів IV Всеукраїнської наук.-практ. конференції ”, 5-6 квітня 2012 р., м. Львів. С. 48-51.

36. Коркач А.В. Синбиотики в технологии помадных конфет // Інноваційні технології в харчовій промисловості та ресторанному господарстві: зб. матеріалів міжнародної наук.-практ. Інтернет-конференції, Харків, 2012. С. 61-62.

37. Коркач А.В., Новичкова Т.П., Киртока И. Влияние синбиотической добавки на реологические свойства помадной массы // Проблемы гігієни та технології харчування. Сучасні тенденції і перспективи розвитку: зб. матеріалів міжнародної наук.-практ. конференції 19-20 квітня 2012 р. Донецьк, 2012. С. 34-36.

38. Коркач А.В., Пальчук С.А. Помадные конфеты с использованием синбиотической добавки // Техника и технология пищевых производств: сб. материалов IX международной науч.-техн. конф. 25-26 апреля 2013 г. Могилев, 2013. С. 109.

39. Коркач А.В., Кушнір Ю.Р. Обоснование выбора функциональной добавки для вафельных изделий // Харчові технології, хлібопродукти і комбікорми: збірник тез доповідей міжнародної науково-практичної конференції. Одеса, 2015. С. 109-110.

40. Коркач А.В., Кушнір Ю.Р. Пребиотики в технологии вафельных изделий // Здобутки та перспективи розвитку кондитерської галузі: зб. матеріалів Міжнародної наук.-практ. конф. Київ, 2015. С. 105-106.

41. Коркач А.В. Разработка синбиотической добавки для желеино-мармелада // Химия, био- и нанотехнологии, экология и экономика в пищевой и косметической промышленности: сб. материалов 3-й междунар. науч.-практ. конф. 15-16 октября 2015. Харьков, 2015. С. 62-63.

42. Коркач Г.В., Кушнір Ю.Р. Зміна якості жирової начинки з інуліном в процесі зберігання // 76 наукова конференція викладачів академії: зб. матеріалів. Одеса, 2016. С. 49-50.

43. Коркач А.В. Расширение ассортимента помадных конфет на основе синбиотического комплекса // Здобутки та перспективи розвитку кондитерської галузі: зб. матеріалів 3-ї Міжнародної наук.-практ. конф. Київ, НУХТ, 2016. С. 112-116.

44. Korkach A.V. Development of synbiotic complexes for manufacture of confectionery products // Техника и технология. Восточно европейская конференция. 29.11.2016 – 30.11.2016, Познань, Польша. С. 8-11.

45. Коркач А.В. Разработка жировой начинки для вафельных изделий с использованием синбиотиков // Продовольственная безопасность в контексте новых идей и решений: сб. материалов международной науч.-практ. конф., г. Семей, Казахстан, 2017. С. 29-32.

46. Коркач Г.В., Паламарчук Б.В., Дубасова Л.С. Вплив агрегатного стану жиру на показники якості жирової начинки // Технології харчових продуктів і комбікормів: зб. матеріалів Міжнародної наук.-практ. конф., Одеса, 2017. С. 44-45.

47. Коркач Г.В. Синбиотики в технології вафельних виробів // Тези доповідей 77 наукової конференції викладачів академії, Одеса, 2017. С. 55-56.

48. Коркач А.В., Шевцова Д.П. Перспективы использования синбиотиков в технологии вафельных изделий // Техника и технология пищевых производств: сб. материалов XII Международной науч.-техн. конф., 19-20 апреля. Республика Беларусь, г. Могилев, 2018. С. 244-245.

49. Коркач Г.В., Карацуба Н.Л. Вплив синбіотичного комплексу на безпечність вафельних виробів // 78 наукова конференція викладачів академії: збірник тез, Одеса, 2018. С. 49-51.

50. Коркач Г.В., Лебеденко Т.Є., Карацуба Н.Л. Вплив функціональних інгредієнтів на якість вафельних виробів // Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті Євроінтеграції: зб. матеріалів міжнародної наук.-техн. конф., 6-7 листопада 2018, Київ, НУХТ. С. 67-68.

51. Коркач Г.В., Шевцова Д., Подрушняк В. Обґрунтування вибору біополімерів для оболонки мікрокапсули // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: зб. матеріалів 85 Ювілейної Міжнародної наук. конф. молодих учених, аспірантів і студентів 11-12 квітня 2019 р., частина 1, Київ. С. 172.

52. Коркач Г.В., Іоргачова К.Г. Розробка інноваційної технології зефіру з синбіотиком // Здобутки та перспективи розвитку кондитерської галузі: зб. матеріалів VI Міжнародної наук.-практ. конф., присвяченої 135-річчю Національного Університету харчових технологій та 70-річчю кафедри технологій хлібопекарських і кондитерських виробів, 10-11 вересня, 2019. С. 84-87.

53. Коркач А. Разработка технологии зефира функционального назначения с синбиотиками // The Fourth International Conference on Eurasian scientific development. Proceedings of the Conference Conference. "East West" Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH. Vienna. 2015. P. 15-18.

Особистий внесок здобувача в наукових роботах:

1) проведення літературного, патентного пошуку та експериментальних досліджень, наукове обґрунтування теоретичних положень, підготовка матеріалів до друку (поз. 5, 6, 10, 12, 16-18, 32, 34, 35, 38-40, 42, 47, 50);

2) організація та участь у експериментальних дослідженнях, корегування методик експериментів, обробка і узагальнення результатів, підготовка матеріалів до друку (поз. 1-3, 7-9, 11, 13-15, 19, 20, 31, 33, 36, 43).

3) загальний задум, керівництво дослідженнями, складання та редагування формул винаходів (поз. 21-29);

4) керівництво та участь у експериментальних дослідженнях, наукове обґрунтування та узагальнення результатів, обробка даних і підготовка їх до друку (поз. 4, 30, 37, 44-46, 48, 49, 51-53).

АНОТАЦІЯ

Коркач Г.В. Науково-практичне обґрунтування та розроблення технологій кондитерських виробів з синбіотиками. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.18.01 – технологія хлібопекарських продуктів, кондитерських виробів та харчових концентратів. Одеська національна академія харчових технологій Міністерства освіти і науки України, Одеса, 2021.

Дисертація присвячена науковому обґрунтуванню та практичній реалізації технологій капсулювання пробіотичних клітин мікроорганізмів у різні види

матриць та створення на їхній основі синбіотичних комплексів, що дало змогу розвинути науковий напрям щодо використання їх у технологіях кондитерських виробів для надання їм функціональної спрямованості.

Науково обґрунтовано та практично перевірено теоретичні положення утворення мікрокапсул «пробіотики-оболонкоутворювач» за допомогою комбінованого способу – іммобілізації в гель і мікрокапсулювання, що стало науковим підґрунтям для розроблення технологічного процесу виробництва синбіотичного комплексу і використання його в рецептурах кондитерських виробів. На підставі комплексу проведених досліджень у вивченні впливу синбіотичних комплексів на якість напівфабрикатів та готових кондитерських виробів удосконалено технології їхнього виробництва з коректуванням технологічних параметрів і урахуванням введення до рецептури мікрокапсульованих бактерій і пребіотиків. Обґрунтовано доцільність застосування синбіотиків у технологіях кондитерських виробів як рецептурних компонентів і функціональних добавок.

На підставі медико-біологічних досліджень доведено ефективність використання синбіотиків у технології кондитерських виробів для надання їм лікувально-профілактичних властивостей, спрямованих на нормалізацію кишкової мікробіоти.

Ключові слова: кондитерські вироби, дисбіоз, мікрокапсулювання, мікрокапсули з пробіотиками, синбіотичний комплекс, реологічні та органолептичні властивості, технологічні параметри, помадні цукерки, зефір, мармелад, жирова начинка, вафлі.

SUMMARY

Korkach HV. Scientific and practical substantiation and development of technologies of confectionery with synbiotics. – Manuscript.

The dissertation for the scientific degree of the doctor of technical sciences of specialty 05.18.01: technology of bakery products, confectionery, and food concentrates. Odessa National Academy of Food Technologies of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Odessa, 2021.

This dissertation is devoted to scientific substantiation and practical realization of innovative technologies of encapsulating probiotic cells of microorganisms in different types of matrices and creating synbiotic complexes based on them, which allows to develop the scientific trend of using them in confectionery technologies to impart functional properties.

The theoretical premises of forming «probiotics-shell» microcapsule in a composite way (gel immobilization and microencapsulation) has been scientifically substantiated and practically tested, which became the scientific basis for developing the technological process of producing the synbiotic complex (SC) and introducing it into confectionery products. Theoretical thesis of obtaining microcapsules with microorganism cells by using polysaccharides as shell formers has been developed. The mass fraction (10%) of calcium chloride used as the structuring agent to form the pectin and pectin-chitosan matrix has been experimentally established. The composition of structuring agents has been proposed and the optimal weight ratio of pectin and chitosan has been experimentally established by IR spectrometry,

rheological quality analysis of the developed matrices, and *in vitro* experiments to study the survival of microencapsulated bacterial cells in the gastrointestinal tract.

Theoretical study of the kinetics of matrix formation from the composition of polysaccharides (pectin and chitosan) has revealed that the process of hydrogel formation occurs due to forming interpolyelectrolyte complex with different types of binding: in addition to electrostatic interaction between polyelectrolytes, hydrogen and intermolecular hydrophobic bonds are formed.

The possibility and expediency of using the developed method of encapsulation in order to "protect" bacterial cells from the effects of adverse factors and maintain their viability in conditions that mimic the gastrointestinal tract (*in vitro*) have been experimentally confirmed. It has been found that the presence of unprotected bifidobacteria cells in a medium with pH 2 for 3 hours led to their significant destruction, while the number of viable cells decreased by 50% compared to their initial value and amounted to $5 \cdot 10^4$ CFU/g. Whereas the number of encapsulated cells in the pectin and pectin-chitosan shells decreased by 12% in both cases, and amounted to $3 \cdot 10^7$ and $5 \cdot 10^7$ CFU/g, respectively. The same tendency persisted in relation to bile.

The prolonged release of microorganisms at the sites of dislocation when they are included in pectin and pectin-chitosan matrices has been studied and scientifically substantiated. Microencapsulation technology for microcapsules with probiotic microorganisms has been developed.

Theoretical and practical preconditions of using prebiotics to create synbiotic complexes in order to use them in confectionery technology have been formulated. Synbiotic complexes for sugar and flour products have been substantiated and developed.

The effect of the synbiotic on the structural, mechanical, physical, and chemical properties of fondant mass and finished products has been experimentally investigated. It has been confirmed that fondant masses with the synbiotic complex are pseudoplastic bodies with anomalous viscosity. Their flow can be described by the Ostwald de Ville power model. Increased dispersion of fondant candies with synbiotic has been determined as well as slower "staling", which allowed to increase the shelf life by 1.6 times.

The effect of the synbiotic complex on the physical and chemical parameters of the marshmallow mass has been determined. It has been established that introducing microencapsulated microorganisms into the recipe and increasing the mass fraction of lactulose leads to an increased amount of free moisture in the system; the content of reducing substances increases; there is an intensive saturation of the system with air, which leads to decreased density; the marshmallow mass has a fine and homogeneous structure with the average size of air inclusions being 10-12 μm , which significantly affects the taste of the finished product.

The technological development of flour confectionery products with synbiotic complexes, particularly wafers with fat filling, has been substantiated. It has been established that introducing synbiotics into the fat filling significantly increases the degree of its structure formation, makes the developed samples of wafer products more organic, provides stable quality by stabilizing the fat phase and preventing its

oxidative spoilage, and, as a result, leads to better preservation of finished products throughout their shelf life. At the same time, sensory properties of the product do not change and microbial contamination is minimized.

The effectiveness of using synbiotic complexes in confectionery technology in order to impart therapeutic and prophylactic properties, due to the pronounced anti-inflammatory, antioxidant, and antidysbiotic effects, which allows to correct and restore the intestinal microbiota, has been proven through medical and biological research.

Key words: confectionery, dysbiosis, microencapsulation, microcapsules with probiotics, synbiotic complex, rheological and sensory properties, technological parameters, fondant candies, marshmallow, marmalade, fat filling, waffles.

Підписано до друку 02.04.2021.
Формат 60×90/16. Ум.-друк. арк. 1,8. Друк різнографічний
Наклад 100 прим. Видавничий центр ОНАХТ

Одеська національна академія харчових технологій
65039, Україна, м. Одеса, вул. Канатна 112, ОНАХТ