

# НОВИЙ НАПРЯМОК



ГЛИБОКОЇ ПЕРЕРОБКИ  
ПЛОДІВ ТА ОВОЧІВ  
В ОЗДОРОВЧІ ПРОДУКТИ

Серія: інновації при  
переробці плодів,  
овочів і молока

- ✿ Інуліновмісні овочі
- ✿ пребіотичні та біологічно активні речовини овочів
- ✿ кріомеханодеструкція інуліну, пектину, білка, целюлози
- ✿ альтернатива обробці ферментними препаратами
- ✿ нове покоління натуральних продуктів для оздоровчого харчування

# НОВИЙ НАПРЯМОК ГЛИБОКОЇ ПЕРЕРОБКИ ПЛОДІВ ТА ОВОЧІВ В ОЗДОРОВЧІ ПРОДУКТИ

*Серія: Інновації при переробці  
плодів, овочів і молока  
в оздоровчі продукти*

Р.Ю. Павлюк  
В.В. Погарська  
О.С. Бессараб  
К.С. Балабай  
О.С. Погарський  
Т.С. Абрамова  
О.О. Юр'єва  
Т.В. Кравчук  
С.М. Лосєва

Харків  
«ФАКТ»  
2021

## Рецензенти:

*Снежжін Юрій Федорович* – д-р техн. наук, проф., лауреат Державних премій СРСР та України, академік НАН України, директор Інституту технічної теплофізики НАНУ, зав. відділу тепломасопереносу в теплотехнологіях

*Капрельянець Леонід Вікторович* – д-р техн. наук, проф., заслужений діяч науки і техніки України, лауреат Державної премії України, зав. кафедри біохімії, мікробіології та фізіології харчування Одеської національної академії харчових технологій

*Божков Анатолій Іванович* – д-р біол. наук, проф., директор Науково-дослідного інституту біології Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна, зав. кафедри молекулярної біології і біотехнології

**Н 73 Новий** напрямок глибокої переробки плодів та овочів в оздоровчі продукти: монографія / Р.Ю. Павлюк, В.В. Погарська, О.С. Бессараб, К.С. Балабай, О.С. Погарський, Т.С. Абрамова, О.О. Юр'єва, Т.В. Кравчук, Т.М. Коломієць, Н.П. Максимова, С.М. Лосєва; Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі. Харків; Нац. ун-т харч. технол. Київ; Одеська нац. акад. харч. технол. Одеса; Харк. фахов. коледж харч. пром. Харк. нац. техн. ун-ту сільск. госп. ім. П. Василенка. Харків; Липковат. аграрн. коледж. – Х.: Факт. 2021. - 253 с. (*Серія: Інновації при переробці плодів, овочів і молока в оздоровчі продукти*).

ISBN 978-617-8072-31-5

Наведено запропонований авторами на основі багаторічних фундаментальних та прикладних досліджень вперше в світовій практиці новий в харчових технологіях напрямок глибокої переробки різних видів рослинної сировини, в тому числі інуліновмісної, з використанням процесів кріомеханохімії та кріомеханодеструкції. Це область досліджень хімічних явищ та хімічних процесів, які виникають під впливом методів дрібнодисперсного подрібнення та кріообробки рослинної сировини з використанням кріогенних рідин (зокрема, рідкого та газоподібного азоту). Застосування нового напрямку глибокої переробки дозволило провести значну кріомеханодеструкцію високомолекулярних біополімерів рослинної сировини (інуліну, пектину, білку, целюлози) та трансформувати їх важкорозчинні форми до окремих мономерів (на 45...70%). Зроблено відкриття прихованих, неактивних форм біополімерів та низькомолекулярних БАР в рослинній сировині та можливість трансформувати їх значну частку (до 70%) у вільну наноформу при отриманні рослинних нанодобавок. Останні мають принципово нові якісні характеристики, яких неможливо досягти, використовуючи традиційні методи переробки сировини. Запропоновано напрям глибокої переробки інуліновмісної рослинної сировини та інших плодів та овочів, розроблено нанотехнології добавок із них та оздоровчих продуктів з їх застосуванням для зміцнення імунітету населення, що засновані на використанні як інновації комплексної дії на сировину кріообробки та механодеструкції. Розроблено нанотехнології отримання добавок із топінамбура та інших плодів та овочів у формі заморожених нанопаст та нанопорошків, які не мають аналогів в світі. На їх основі розроблено нове покоління натуральних оздоровчих продуктів, що призначені для імунопрофілактики та харчової безпеки населення, які отримані без застосування штучних харчових домішок та якість яких за вмістом БАР перевищує відомі аналоги. Представлені авторами нанотехнології добавок та нового покоління натуральних оздоровчих продуктів готові до впровадження у виробництво як засоби для зміцнення імунітету населення України та світу, попередження та профілактики захворювання на COVID-19 та інших негативних факторів довкілля.

УДК 621.926.087:664.8

# **NEW DIRECTION OF DEEP PROCESSING OF FRUITS AND VEGETABLES INTO HEALTHY PRODUCTS**

*Series: Innovations in processing  
of fruits, vegetables and milk  
while the obtaining of healthy products*

R.Yu. Pavlyuk  
V.V. Pogarskaya  
A.S. Bessarab  
K.S. Balabai  
A.S. Pogarskiy  
T.S. Abramova  
O.O. Yurieva  
T.V. Kravchuk  
S.M. Loseva

Kharkiv  
“Fact”  
2021

## Reviewers:

*Sniezhkin Yuriy Fedorovich* – Dr. of Technical Science, Prof., Laureate of State awards of the USSR and Ukraine, Academician of the National Academy of Sciences of Ukraine, Director of the Institute of Technical Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Head of the Department of Heat and Mass Transfer in Heat Technologies

*Kaprelyants Leonid Viktorovich* – Dr. of Technical Science, Prof., Honored Worker of Science and Technology of Ukraine, Laureate of the State Prize of Ukraine, Head of the Department of Biochemistry, Microbiology and Physiology of Nutrition, Odessa National Academy of Food Technologies

*Bozhkov Anatoliy Ivanovich* – Dr. of Biological Science, Prof., Director Science and Research Institute of Biology, V.N. Karazin Kharkiv National University, Head of the Department of molecular biology and biotechnology

H 73 **New direction of deep processing of fruits and vegetables into healthy products: monograph** / R. Yu. Pavlyuk, V.V. Pogarskaya, A.S. Bessarab, K.S. Balabai, A.S. Pogarskiy, T.S. Abramova, O.O. Yurieva, T.V. Kravchuk, T.M. Kolomiets, N.P. Maksymova, S.M. Loseva; Kharkiv State University of Food Technologies and Trade. Kharkiv; National University of Food Technologies. Kyiv; Odessa National Academy of Food Technologies. Odessa; Kharkiv Professional College of Food Industry of Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Petro Vasilenko. Kharkiv, 2021. 253 p. (Series: Innovations in processing of fruits, vegetables and milk while the obtaining of healthy products).

ISBN 978-617-8072-31-5

For the first time in the world practice, on the basis of many years of fundamental and applied research the authors have proposed a new direction in food technology of deep processing of various plant raw materials, including inulin-containing materials, using the processes of cryomechanochemistry and cryomechanodestruction. This is a field of research of chemical phenomena and chemical processes that occur under the action of fine-dispersed grinding and cryoprocessing of plant raw materials using cryogenic liquids (particularly liquid and gaseous nitrogen). The application of a new direction of deep processing allowed significant cryomechanodestruction of high molecular weight biopolymers of plant raw materials (inulin, pectin, protein, cellulose) and transformation 45...70% of their hardly soluble forms into individual monomers. In addition, the authors have discovered hidden, inactive forms of biopolymers and low molecular weight BAS in plant raw materials and an ability to transform a significant proportion (up to 70%) of them into a free nanoform when obtaining nanosupplements. The latter have fundamentally new qualitative characteristics that cannot be achieved using traditional methods of raw material processing. A new direction of deep processing of inulin-containing plant raw materials and other fruits and vegetables is proposed. The nanotechnologies of supplements from them and health products with their use for strengthening the population's immunity are developed. They based on the use of complex action of cryoprocessing and mechanical destruction of raw materials as innovations. The nanotechnologies for obtaining the supplements from topinambour and other fruits and vegetables in the form of frozen nanopastes and nanopowders, which have no analogues in the world, have been developed. Based on them, a new generation of natural health products is designed for immunoprophylaxis and food safety of the population. They are obtained without the use of artificial food supplements and their quality in terms of BAS content exceeds known analogues. The nanotechnologies of supplements and a new generation of natural health products which were presented by the authors are ready for introduction into production as a means to strengthen the immunity of the population of Ukraine and the world, prevention and prophylaxis of COVID-19 and other negative environmental factors.

UDC 621.926.087:664.8

ISBN 978-617-8072-31-5

© Pavlyuk R.Yu., Pogarskaya V.V., Bessarab A.S., Balabai K.S., Pogarskiy A.S., Abramova T.S., O.O. Yurieva and other, 2021  
© Kharkiv State University of Food Technology and Trade, 2021  
© Publishing house "Fact", 2021

## *ВСТУП*

Харчування є одним із найважливіших факторів в житті людини, від якого залежить здоров'я, довголіття, час активного функціонування фізіологічних систем організму людини та ін. Поступове збільшення загальної чисельності населення на планеті та обмеженість продовольчих ресурсів призвело до загострення та необхідності вирішення проблеми забезпечення населення продуктами харчування. На сьогоднішній день кожний 8 житель планети голодує та 2/3 людства відчувають постійний дефіцит в продуктах харчування. Особливо не вистачає продуктів з високим вмістом білка, біологічно активних речовин (БАР), зокрема вітамінів, мінеральних речовин та інших фітокомпонентів. Просте збільшення обсягів виробництва та споживання продовольчих ресурсів не може вирішити проблему харчування. Воно повинно бути раціональним, збалансованим за хімічним складом, а також відповідати основним критеріям та положенням науки про харчування, що розроблені Міжнародною організацією здоров'я ФАО/ВООЗ, МОЗ України та Інститутом гігієни харчування МОЗ України. Відповідно до них, особливе місце в харчуванні людини поряд з білками відіграють біологічно активні речовини, зокрема, різні види фітоінгредієнтів, джерелами яких є фрукти, ягоди, овочі, натуральні прянощі, лікарська, пряно-ароматична рослинна сировина. Останні використовуються в харчуванні населення з глибокої давнини. Ще 2300 років тому грецький лікар Гіппократ вважав, що фрукти, ягоди, овочі, різні корені, лікарські, пряно-ароматичні трави є їжею та ліками одночасно. Наприкінці ХХ століття ситуація суттєво змінилася. Відбувся бурхливий розвиток хімії, який призвів до перевероту в фармакології та до виникнення нової пограничної між харчовою наукою та фармакологією галуззю, що отримала назву фарманутриціології. Були синтезовані, широко розрекламовані та почали використовуватись в раціонах харчування поряд та замість натуральних плодів та овочів різні види штучних вітамінів, мінеральних речовин тощо. Наступним результатом розвитку хімії стала поява широкого асортименту штучних харчових домішок (загусників, структуроутворювачів, підсилювачів смаку, емульгаторів, барвників, ароматизаторів, консервантів тощо), застосування яких дало змогу суттєво зменшити вартість харчових продуктів, оскільки дозволило використовувати сировину низької якості, нетрадиційну сировину або її замітники. Відтоді виготовляти харчові продукти із використанням натуральної плодоовочевої сировини високої якості,

що має високу вартість, виробникам стало не вигідно. В міжнародній практиці почали виробляти широкий асортимент штучних та імітованих харчових продуктів, зокрема, синтетичні аналоги молока, м'яса, риби, круп, овочів тощо. Отримані продукти за зовнішнім виглядом і смаком майже не відрізняються від натуральних, але мають значно нижчу ціну. Обсяги їх виробництва збільшуються з кожним роком. Розпочалась епоха широкого використання харчових домішок при отриманні майже усіх харчових продуктів. За статистичними даними, річний обсяг споживання харчових домішок з продуктами харчування на душу населення протягом останніх 20 років поступово збільшувався і на сьогоднішній день становить біля 2,5 кг на рік.

Суттєвим недоліком таких продуктів, на думку академіка РАМН Волгарєва М.Н. – авторитетного вченого та фахівця в галузі харчування, біологічно активних та харчових добавок є той факт, що «хімічні харчові домішки», які використовуються при виготовленні харчових продуктів (барвники, загусники, структуроутворювачі, підсилювачі смаку, консерванти тощо) в організмі людини є антагоністами вітамінів, мінералів, що блокують їх корисний ефект. Слід зазначити, що з кожним роком в науковій літературі збільшується кількість результатів досліджень, які підтверджують шкідливу дію на організм людини наявності в складі широкого асортименту продуктів для масового споживання штучних хімічних, синтетичних та модифікованих харчових домішок. Встановлено, що наслідком вживання продуктів, до складу яких входять харчові домішки є виникнення різних форм алергії, серцево-судинних, онкологічних захворювань тощо, тобто погіршення здоров'я населення. Паралельно сучасні дієтологи, лікарі, вчені в галузі харчових технологій та здорового харчування звертають увагу на колосальну оздоровчу дію на організм людини фітокомпонентів із різних видів плодів та овочів, лікарських трав, натуральних прянощів та ін.

Тому сьогодні в міжнародній практиці змінюються вимоги до харчових продуктів, як у споживачів, так і у компаній, що займаються їх виробництвом та реалізацією. Головною вимогою до харчових продуктів стає максимальна натуральність, наявність у складі продуктів компонентів і речовин, що сприяють зміцненню здоров'я, а також відсутність у складі продуктів, ставших традиційними, харчових домішок і синтетичних компонентів. Розробкою технологій саме таких оздоровчих продуктів із плодів, овочів, прянощів та натуральних добавок із них для підприємств харчової промисловості та страв для закладів ресторанного бізнесу займаються автори роботи.

Монографія присвячена розробці нанотехнологій та нового напрямку глибокої переробки інуліновмісної рослинної сировини (зокрема, бульб топінамбура) та інших плодів і овочів в нанодобавки та харчові продукти для здорового харчування. Останній заснований на використанні як інновації комплексної дії на сировину кріогенного «шокового» заморожування та дрібнодисперсного подрібнення, які супроводжуються процесами кріомеханодеструкції, кріомеханохімії та кріомеханоактивації. Новий спосіб інтенсифікації технологічних процесів при переробці інуліновмісної сировини – топінамбура дозволяє в значній мірі провести кріомеханодеструкцію важкоперетравлюваного біополімеру – інуліну (на 45...55%) до окремих мономерів – фруктози та фруктозанів, тобто трансформувати в легкозасвоювану форму. Крім того, зроблено відкриття прихованих неактивних форм біополімерів, зокрема, пектину та різних БАР, значну частину яких вдалося трансформувати у вільну легкозасвоювану наноформу.

Актуальність роботи пов'язана з необхідністю вирішення глобальної проблеми зміцнення імунітету населення, зниження якого є наслідком незбалансованого харчування, дефіциту в раціонах харчування вітамінів, мінеральних речовин, фітокомпонентів, білку та інших БАР, загального погіршення екологічної ситуації в країні і в світі та пандемією, яка пов'язана із захворюванням COVID-19. Підвищити імунітет можна шляхом регулярного споживання натуральних функціональних оздоровчих добавок та продуктів, які відрізняються значним вмістом біологічно активних фітокомпонентів рослинної сировини, що сприяють зміцненню захисних сил організму. До числа таких речовин, крім вітамінів, мінеральних речовин, відносять каротиноїди, фенольні сполуки, хлорофіли, дубильні та ароматичні речовини та інші фітокомпоненти рослинної сировини, зокрема інулін, пектинові речовини, харчові волокна та ін., які є неперетравлювальними компонентами їжі, що виконують в шлунково-кишковому тракті організму людини дві захисні функції. По-перше, вони виступають в ролі комплексоутворювачів та детоксикантів, що утворюють в ШКТ з іонами важких металів та іншими видами шкідливих речовин нерозчинні комплекси, сприяють їх виведенню із організму людини. Це важливо в теперішній час, коли змінилась структура харчування і переважну більшість харчових продуктів виробляють з використанням значної кількості харчових добавок, наявність яких в продуктах може спричинити шкоду організму людини. По-друге, виконують функцію пребіотичних речовин – неперетравлювальних компонентів їжі, що



стимулюють в організмі людини ріст і метаболічну активність однієї або декількох груп власних бактерій та сприяють підтриманню в ШКТ рівноваги різних видів кишкової мікрофлори. Від останньої, за даними провідних медичних установ, залежить стан здоров'я слизової оболонки кишечника та на 80% залежить імунітет людини.

Перспективною сировиною для отримання функціональних оздоровчих продуктів та добавок, що мають пребіотичні властивості та сприяють зміцненню захисних сил організму, є топінамбур. Останній в таких країнах, як США, Канада, Бразилія, Франція, Білорусь та інші входить до числа основних сільськогосподарських культур, що використовується в харчовій, фармацевтичній та інших галузях промисловості. Це пов'язано з тим, що топінамбур є сировиною для отримання продуктів оздоровчого та дієтичного харчування, фітопрепаратів, біоетанолу та інших видів продукції, що користується попитом на внутрішньому та зовнішніх ринках.

Цінність топінамбура для харчової промисловості визначається, насамперед, його вуглеводним складом, оскільки сухі речовини бульб топінамбура на 80% представлені пребіотиком інуліном, що є єдиним натуральним полісахаридом, який на 95% складається із нешкідливого для діабетиків цукру фруктози. Крім того, за вмістом вітамінів С, В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, а також заліза, кремнію, цинку топінамбур перевищує моркву та буряк в 3 рази. Труднощі при переробці топінамбура полягають в тому, що в присутності кисню повітря під дією ферментів поліфенолоксидази та пероксидази відбувається окиснення фенольних сполук з утворенням темно забарвлених речовин, що значно псує колір готового продукту. Крім того, існуючі технології переробки топінамбура в різні добавки у формі порошків, паст з використанням паротермічної обробки, сушіння, не дозволяють частину інуліну трансформувати в легкозасвоювану фруктозу. Обробка ферментними препаратами дозволяє трансформувати близько 10% інуліну до фруктози. У зв'язку з цим, актуальним є пошук технологічних прийомів та розробка технологій, які дозволяють отримати добавки та продукти з топінамбура високої якості.

Серед харчових технологій, які використовуються при виготовленні оздоровчих продуктів із плодів, овочів та іншої харчової сировини особливе місце займають високі технології з використанням інновацій, які максимально зберігають біологічно активні речовини (БАР) свіжої сировини. Сьогодні у всьому світі в різних галузях промисловості, в тому числі і харчовій, спостерігається буквально «бум» зі створення нанотехнологій. В харчовій промисловості розробки на-

нотехнологій, в основному, стосуються імітованої та штучної харчової продукції із застосуванням хімічних, синтетичних компонентів та модифікованих продуктів. Що стосується розробки нанотехнологій виготовлення продуктів із натуральної сировини, як рослинної, так і тваринної, то в міжнародній практиці такі дані відсутні. Автори монографії вже багато років працюють в галузі створення різних нанотехнологій харчових продуктів із натуральної сировини без харчових домішок та синтетичних компонентів. Це пов'язано з тим, що в кінці ХХ століття з'явилась можливість цілеспрямовано отримувати дрібнодисперсні системи з частинками у діапазоні (1-100 нм) з використанням кріогенної обробки сировини та нового покоління різних механічних активаторів-подрібнювачів, кутерів, екструдерів та ін. При цьому, з'явилась можливість проводити дослідження та розробки на молекулярному, атомному та мікромолекулярному рівні, що дозволило отримати матеріали, системи, структури, продукцію і т.п. з принципово новими споживчими властивостями. Цей напрямок інтенсифікації технологічних процесів при глибокій переробці сировини з використанням в якості інновацій технологічного прийому – дрібнодисперсного подрібнення спочатку з застосуванням низьких (кріогенних) температур отримав назву «кріомеханодеструкції» «механоактивації», «кріомеханохімії», «механохімії». При цьому, при переробці сировини, в ній відбуваються процеси механо- та кріодеструкції, механоактивації, кріомеханохімії, механохімії, застосування яких дозволяє процес обробки сировини зробити більш ефективним та глибоким і отримати продукцію в нанорозмірній формі, що має якісно нові за хімічним складом та технологічними показниками характеристики. Останні неможливо досягти з використанням традиційних способів і технологій переробки.

Слід відмітити, що кріомеханохімія та механохімія, як галузь досліджень хімічних явищ і хімічних процесів, що виникають під дією механічного впливу, зокрема, при дрібнодисперсному подрібненні та при кріообробці сировини та матеріалів на хімічні речовини в різних галузях промисловості є перспективним напрямком досліджень і впроваджень в багатьох країнах світу. В їх число входить Японія, США, Німеччина, Казахстан та ін. Сьогодні встановлені перспективні способи кріогенного механічного подрібнення та їм альтернативні без застосування холоду. Застосування останніх призводить до збільшення ступеня дисперсності подрібнювальних матеріалів за рахунок про-

цесів кріо- та механодеструкції, механоактивації, кріо- та механохімії речовин і матеріалів. Це дозволяє отримати якісно новий продукт.

Перспективні способи дрібнодисперсного подрібнення вже знайшли широке застосування в металургійній, текстильній, хімічній, авіаційній, будівельній промисловості та ін. Так, наприклад, вдалося отримати нанопорошки тугоплавких металів, включення яких до складу металів і сплавів призводить до збільшення в 2,0...3,0 рази їх міцності і зносостійкості. Використання перспективних способів подрібнення дозволило розробити технології порошкової металургії, технології пластмас з поверхнею, що не дряпається, технологію текстильної продукції з водо- і брудовідштовхуючими властивостями та ін. Механізми механохімічних процесів, що відбуваються з неорганічними полімерними матеріалами під впливом механодеструкції, механічної активації, описані в класичній монографії Н.К. Барамбойма «Механохімія високомолекулярних сполук».

Аналіз періодичної науково-технічної літератури показав, що в харчовій промисловості перспективні способи дрібнодисперсного подрібнення, які призводять до процесів механодеструкції (в тому числі кріодеструкції), механоактивації, кріо- та механохімії в харчовій сировині мало вивчені. Виключення становлять наукові дослідження, що виконуються в науково-дослідній лабораторії «Інноваційних кріо- і нанотехнологій рослинних добавок і оздоровчих продуктів» кафедри харчових технологій продуктів з плодів, овочів і молока та інновацій в оздоровчому харчуванні ХДУХТ в рамках наукової школи професорів Павлюк Р.Ю. та Погарської В.В. – авторів монографії.

Протягом останніх 30 років авторами проводяться широкомасштабні фундаментальні та прикладні дослідження присвячені розробці методів кріогенного дрібнодисперсного подрібнення, пошуку альтернативних (без застосування низьких температур) методів подрібнення та розробці технологій дрібнодисперсних добавок у формі нанопорошків, нанопаст, заморожених нано пюре, екстрактів із різних видів харчової сировини (плодів, овочів, нетрадиційної лікарської та пряно-ароматичної сировини, грибів, продуктів бджільництва, висівків зерна, лушпиння гречки тощо). На основі багаторічних наукових досліджень вперше в світовій практиці запропоновано новий напрямок глибокої переробки харчової сировини та розроблені нанотехнології рослинних добавок і оздоровчих продуктів з унікальними характеристиками, які не мають аналогів. Напрямок заснований на використанні як інновації дрібнодисперсного подрібнення, в тому числі, із застосуванням низьких

(кріогенних) температур, що супроводжується процесами кріо- та механодеструкції, механоактивації, кріо- і механохімії. Застосування дрібнодисперсного подрібнення дозволяє процес обробки сировини зробити більш ефективним та глибоким і отримати продукцію в нанорозмірній формі, що має якісно нові за хімічним складом та технологічними показниками характеристики, які неможливо досягти з використанням традиційних способів та технологій переробки. Отримані продукти знаходяться в нанорозмірній формі та відрізняються від аналогів рекордним вмістом біологічно активних речовин, що мають антиоксидантну, детоксикуючу, імуномодулюючу, протипухлинну дію. Встановлено існування в рослинній сировині (плодах, овочах, грибах, продуктах бджільництва, прянощах, лікарській сировині) «прихованих» форм низькомолекулярних біологічно активних речовин, які неможливо вилучити і визначити, використовуючи традиційні хімічні методи досліджень. Доведено, що під впливом процесів кріо- і механодеструкції, кріомеханохімії, механоактивації в рослинній сировині відбувається збільшення вилучення (екстракції) масової частки низькомолекулярних БАР за рахунок переходу їх частини з прихованого, зв'язаного з біополімерами стану, в активну вільну форму. Так, наприклад, встановлено в порівнянні зі свіжою сировиною, що в отриманих за нанотехнологіями плодоовочевих кріопастах вміст вітаміну С в 3,0...4,0 рази вище. Аналогічне збільшення вмісту було встановлено для каротиноїдів, фенольних сполук та інших БАР. Отримані результати багаторічних фундаментальних та прикладних досліджень дозволили авторам зробити приголомшливий висновок: причина голодування частини населення на Землі полягає в неповному використанні біологічного потенціалу харчової рослинної сировини. Під час переробки в готовий для споживання продукт та під час засвоєння організмом людини біологічний потенціал сировини використовується не більше як на 30...50%. Тому доцільним є впровадження нанотехнологій отримання харчових продуктів та нанодобавок із використанням дрібнодисперсного подрібнення, в тому числі, з використанням кріогенної обробки, що супроводжуються процесами кріо- і механохімії, механоактивації, кріо- і механодеструкції і дають змогу не тільки зберегти, а також більш повно розкрити та використати закладений природою біологічний потенціал сировини за вмістом БАР та біополімерів, що рівноцінно збільшенню врожайності в декілька раз.

Автори роботи ставили собі за мету привернути увагу науковців, дослідників, технологів до важливої ролі в біохімічних, хімічних та ферментативних процесах при глибокій переробці інулінвмісної сировини

в оздоровчі добавки та продукти комплексної дії кріогенного «шокового» заморожування та механічного дрібнодисперсного подрібнення. Зазначені процеси, на думку авторів, будуть перебігати інакше, ніж з використанням існуючих традиційних технологій. Під час глибокої переробки інулінвмісної сировини відбуваються складні процеси кріомеханодеструкції, кріомеханохімії, дезагрегації, механокрекінгу (руйнування зв'язків) не тільки низькомолекулярних БАР з біополімерами, а і високомолекулярних сполук (інуліну, пектину, целюлози, білків тощо), а також наноконкомплексів біополімер – БАР, які дозволять більш повно вилучити БАР із зв'язаних форм, що фіксується хімічними методами. Була поставлена задача: привернути увагу до важливої проблеми, яка відіграє значну роль в більш повному використанні біологічного потенціалу рослинної інулінвмісної сировини, її натуральних цілющих біологічно активних речовин, які закладені природою в рослинній клітині і знаходяться в ній у прихованій, зв'язаній формі і при традиційних способах переробки використовуються людством всього на 1/3, а останні 2/3 йдуть у відходи. Відомо, що частина цінних рослинних БАР важко засвоюється організмом людини (на 30...50 %) та спостерігаються значні втрати БАР (від 20 до 80 %) при традиційних методах переробки та зберігання рослинної сировини. **При цьому, при переробці плодів, овочів, в тому числі бульб топінамбуру в різні види добавок та продукти в міжнародній практиці прийнято керуватись тим, щоб максимально зберегти всі вітаміни та інші хімічні речовини, що закладені природою в рослинних клітинах свіжої сировини. На прикладі топінамбуру авторами монографії запропоновано новий, відмінний прийнятому в світі, підхід щодо збереження біологічного потенціалу рослинної сировини при глибокій переробці. Його відмінність полягає в тому, щоб не тільки зберегти вітаміни та інші біологічно активні та поживні речовини, що містяться в клітині свіжої рослинної сировини. Задачею роботи є також максимально розкрити рослинні клітини та вилучити з них не тільки вільні форми низькомолекулярних речовин, а також вивільнити їх зв'язані (приховані, до цього часу невідомі) форми з біополімерами, мінеральними речовинами, які з'єднані в наноконкомплекси та наноасоціати з іншими речовинами. Крім того, запропонований метод глибокої переробки дозволяє провести значну кріодеструкцію високомолекулярних біополімерів – інуліну, пектину, білку, целюлози із важкозасвоюваної форми у легкозасвоювану форму до окремих мономерів. Кінцева мета глибокої переробки топінамбура –максимально повно розкрити біологічний поте-**

нціал рослинної клітини, вивільнити приховані форми низькомолекулярних БАР без їх ускладнення (тобто щоб не утворювались окислювальні радикали та нові речовини) і частково трансформувати (зруйнувати) біополімери (інулін, пектин, білок, целюлозу) до окремих мономерів в легкозасвоювану організмом людини форму.

Основна ідея, яка розвивається в монографії, полягає в тому, що клітини різних видів рослинної сировини представляють собою біохімічну кладову (або пласт) різних натуральних біологічно активних та поживних речовин. В одній клітині може міститись від сотень до тисячі різних хімічних речовин, з яких побудовані клітини. Слід зазначити, що плоди і овочі є дихаючими продуктами – складною гетерогенною біосистемою, в якій знаходяться й безперервно діють різні ферменти. Особливу роль відіграють окиснювальні ферменти (пероксидаза, поліфенолоксидаза, каталаза, аскорбіна-токсидаза, ліпооксидаза тощо), які сприяють окисненню та руйнуванню в клітинах вітамінів та інших БАР. Крім того, містяться гідролітичні ферменти, які викликають руйнування біополімерів і наноконструкцій клітинних оболонок, біомембран, внутрішньо - клітинних включень тощо. В рослинних клітинах та в міжклітинному просторі безперервно відбуваються ферментативні, біохімічні, хімічні та мікробіологічні процеси, якими потрібно навчитись вірно керувати, щоб не тільки максимально зберегти, а й вилучити з клітини біологічний потенціал різних хімічних речовин, який закладений в ній природою. Для того, щоб відбувалися зазначені процеси, необхідно щоб відбувався рух, взаємодія хімічних речовин, необхідна енергія. На думку авторів, в рослинній клітині частина хімічних речовин знаходиться у вільній формі, а частина в неактивній (прихованій), зв'язаній з біополімерами в наноконструкції та наноасоціати, формі. Для того, щоб їх вилучити (екстрагувати), необхідно надати енергію (низькотемпературну, механічну, електролітичну, паротермічну, енергію тиску тощо).

При розробці нового напрямку глибокої переробки інулінвмісної рослинної сировини використовували комплексну дію різних енергій, зокрема, низьких температур (кріообробки) та енергію механічного дрібнодисперсного руйнування.

Слід підкреслити, що одним із найбільш значних досягнень на початку XXI століття в галузі науки стала можливість залучення досліджень процесів на молекулярному рівні. В нашому випадку поява нового наукового напрямку досліджень в середині 80-х років XX століття - процесів механоактивації, кріомеханодеструкції, кріо- і

механохімії при механічному подрібненні дала можливість авторам, по-перше, пояснити механізм зв'язування окремих макромолекул біополімерів в рослинній клітині (білків, полісахаридів, гетеро полісахаридів тощо) в складні біологічні структури – наноконплекси, наноасоціати. По-друге, пояснити механізми зв'язування біополімерів або їх фрагментів з низькомолекулярними БАР, розмір молекул яких знаходиться в діапазоні від 0,5 нм до 1,5 нм. І третє – пояснити механізми руйнування та вилучення (екстракції) прихованих форм як низькомолекулярних БАР, так і високомолекулярних сполук. Отримані закономірності при кріогенному «шоковому» заморожуванні та дрібнодисперсному подрібненні стали підґрунтям для виявлення аналогічних явищ при використанні паротермічної обробки сировини (паротермолізу), при дрібнодисперсному подрібненні без використання низьких температур.

Вперше зроблено відкриття активації та інактивації окиснювальних ферментів при кріогенному «шоковому» заморожуванні та кріогенному подрібненні плодів та овочів, в тому числі топінамбуру, при різних швидкостях заморожування та до різних кінцевих температур в продукті. Останні мають велике значення при зберіганні та розморожуванні плодів та овочів. Це дало можливість отримати заморожені продукти, якість яких за вмістом БАР перевищує якість свіжих в 2,0...2,5 рази. Розкрито механізми зазначених процесів.

Слід зазначити, що при глибокій переробці рослинної сировини проблема створення нанотехнологій рослинних добавок та продуктів з заданими властивостями значно ускладнюється, оскільки розглядаються складні гетерогенні рослинні дрібнодисперсні біосистеми, до складу яких, крім різних видів низькомолекулярних БАР, входять високомолекулярні важкорозчинні сполуки (інулін, пектинові речовини, особливо протопектин, целюлоза, білки, крохмаль та інші хімічні сполуки) з розміром молекул від 200 до 1000 нм, а також їх наноконплекси та наноасоціати, які зшиті між собою за допомогою водневих зв'язків, індукційної взаємодії, ефірних зв'язків, дисульфідних містків та ін. Слід також враховувати вплив на біологічні системи міжмолекулярних взаємодій. При розробці нанотехнологій харчових продуктів важливо, щоб при подрібненні не утворювались вільні окиснювальні радикали, не відбувалося руйнування молекул, що мають розмір в декілька нанометрів, та не відбувалися процеси механохімії з утворенням нових речовин невідомої природи, які можна виявити навіть візуально (зокрема, за потемнінням продукту, його комкуванням тощо). Слід зазначити, що в кож-

ній конкретній розробленій нанотехнології є своє «ноу-хау», яке залежить від архітекtonіки рослинної сировини, хімічного складу продукту, температури обробки, швидкості заморожування, ступеня подрібнення, а також особливостей перебігу процесів (біохімічних, мікробіологічних, механохімічних, фізико-хімічних, кріомеханохімічних тощо), що відбуваються в напівфабрикатах.

Розроблено унікальний метод кріообробки та нанотехнології трансформації інуліну та інших пребіотичних речовин (пектину, целюлози, білку) бульб топінамбура в легкозасвоювану форму – в мономери, зокрема, фруктозу, фруктозани, галактуронову кислоту,  $\alpha$ -амінокислоти (на 45...60%). Паралельно відбувається вилучення із бульб топінамбура прихованих форм БАР, масова частка яких в 2,0...2,2 разу більше, ніж визначається у свіжій сировині. Це такі фітокомпоненти як низькомолекулярні фенольні сполуки, поліфеноли, L-аскорбінова кислота та ін. Розроблені нанотехнології оздоровчих продуктів із топінамбура в формі замороженого пюре і порошків, які не мають аналогів, знаходяться в нанорозмірній, легкозасвоюваній формі та відрізняються рекордним вмістом БАР. На основі дрібнодисперсних кріопаст та порошків із топінамбура розроблені оздоровчі продукти (різні лінійки зеленого, помаранчевого, рожевого кольорів): сокові нанопаї, комбіновані кисломолочні нанопаї, в тому числі, на молочній сироватці, сиркові десерти, закуски, наносорбети, хлібобулочні та кондитерські вироби тощо.

Модельними дослідженнями показано, що заморожування до температури  $-18^{\circ}\text{C}$  традиційним способом в морозильній камері та кріогенним способом із застосуванням рідкого азоту призводить до збільшення активності окиснювальних ферментів топінамбура в 1,3...1,4 рази. Крім того, встановлено, що застосування кріогенного «шокового» заморожування до температури всередині продукту  $-32...-35^{\circ}\text{C}$  та нижче призводить до інактивації ферментів, активність яких не відновлюється при подальшому дрібнодисперсному подрібненні і зберіганні та перешкоджає потемнінню продукту. Виявлено механізм процесів.

Отримані сенсаційні факти і зроблено відкриття прихованих неактивних форм високомолекулярних неперетравлювальних компонентів – пребіотиків, зокрема полісахаридів (пектинових речовин, протопектину), при переробці топінамбуру, які зв'язані в важкорозчинні нанокмплекси з іншими біополімерами, мінеральними речовинами, низькомолекулярними біологічно активними речовинами. Їх виявлено при глибокій переробці топінамбуру з використанням процесів кріомеханодес-



трукції при розробці нанотехнологій оздоровчих добавок та продуктів в нанорозмірній формі. Це дозволило запропонувати унікальний напрямок глибокої переробки топінамбуру, що дозволяє не тільки зберегти всі цінні БАР, які закладено природою, а також переконливо продемонструвати, що в ньому містяться в значній кількості зв'язані (приховані) форми не тільки БАР, але й високомолекулярних біополімерів, про значну кількість яких науковій спільноті було невідомо. Застосування методу глибокої переробки дозволило встановити, що в топінамбурі в зв'язаній неактивній формі знаходиться в 3,0...3,5 рази більше важкорозчинних пектинових речовин, ніж до теперішнього часу вдавалося вилучити із сировини із застосуванням традиційних методів переробки та 70% вдалося трансформувати в розчинну наноформу.

Встановлено, що під час кріогенного «шокового» заморожування та дрібнодисперсного подрібнення відбувається деструкція молекул білка до окремих мономерів (амінокислот) та трансформація амінокислот (на 45...55%) із зв'язаної форми у вільну при отриманні заморожених та порошкоподібних дрібнодисперсних добавок. Збільшення масової частки  $\alpha$ -амінокислот у вільному стані підтверджено методом ІЧ-спектроскопії. Установлено, що при цьому відбуваються конформаційні зміни молекул білка: збільшення діаметру молекул, ядра, оболонки та зменшення заповнення ядра гідрофобними залишками.

Розроблено нанотехнологію кріозаморожених та порошкоподібних дрібнодисперсних добавок із інуліновмісної сировини (топінамбура) з використанням кріомеханодеструкції під час кріогенного «шокового» заморожування та дрібнодисперсного подрібнення, спільне застосування яких дозволяє інактивувати окиснювальні ферменти, зберегти та збільшити у порівнянні зі свіжою сировиною біологічну цінність отриманих добавок; обґрунтовано технологічні процеси та технологічні параметри, розроблено технологічні схеми виробництва, вивчено якість при отриманні добавок за вмістом біологічно активних фітокомпонентів, яка перевершує існуючі аналоги та розроблено нормативну документацію (ТУ), проведено апробацію в промислових умовах. Нанодобавки із топінамбуру в формі кріопюре та нанопорошків рекомендовані для використання як чотири в одному: джерело натуральних фітокомпонентів, пребіотичних речовин; БАР (фенольних сполук, дубильних речовин, L-аскорбінової кислоти), структуроутворювачі та гелеутворювачі.

Із застосуванням натуральних добавок із топінамбуру розроблено рецептури, технологічні схеми та технології оздоровчих продуктів

(комбінованих кисломолочних напоїв, біойогуртів, кисломолочно - ро-слинних десертів, наноморозива, плодоовочевих нанопоїв, хлібобу-лочних та кондитерських виробів). Нові оздоровчі продукти відрізня-ються рекордним вмістом натуральних БАР та пребіотичних речовин, не містять синтетичних компонентів і харчових домішок, якість про-дуктів перевищує якість відомих світових аналогів.

Монографія є колективною, виконувалась фахівцями Харківсь-кого державного університету харчування та торгівлі (ХДУХТ) кафе-дри харчових технологій продуктів з плодів, овочів і молока та інно-вацій в оздоровчому харчуванні в співдружності з фахівцями Націо-нального університету харчових технологій (НУХТ) кафедри техно-логії консервування, Одеської національної академії харчових техно-логій (ОНАХТ) кафедри готельно-ресторанного бізнесу, а також з фахівцями технологічних відділень Харківського фахового коледжу харчової промисловості ХНТУСГ ім. П. Василенка та Липковатівсь-кого аграрного коледжу.

Дослідження проведені на кафедрі харчових технологій продук-тів з плодів, овочів і молока та інновацій в оздоровчому харчуванні в науково-дослідній лабораторії «Інноваційних кріо- та нанотехнологій рослинних добавок і оздоровчих продуктів», яка оснащена сучасним напівпромисловим обладнанням, таким як: кріогенний програмний заморозувач з комп'ютерним забезпеченням, з використанням рідко-го та газоподібного азоту, кріогенні та низькотемпературні подрібню-вачі, сублімаційна вакуумна сушарка, конвективна сушарка, протира-льна машина та сучасне обладнання, яке є в елітних ресторанах (па-роконвекційна піч (Італія), подрібнювачі (Франція), гомогенізатори (Франція), фризер (Франція), тістомісильна машина (Італія), міксери, Термомікс (Франція), соковижималки (Франція, Італія) та ін.

В монографії узагальнені авторські найостанніші спроби зрозу-міти біохімічні, кріомеханохімічні, ферментативні, мікробіологічні, хімічні явища та неферментативний каталіз при комплексній дії на інулінвмісну рослинну сировину – топінамбур та інші плоди та овочі кріогенної «шокової» обробки разом з застосуванням механічного дрібнодисперсного подрібнення. Використання зазначених техноло-гічних прийомів дозволило отримати кінцеві продукти з принципово новими властивостями, зокрема з покращеним хімічним складом (за рахунок вилучення зв'язаних прихованих форм хімічних речовин) в на-норозмірній формі з іншими функціональними технологічними власти-востями (здатністю утворювати гелі, краще розчинятися в воді, здатніс-

тю утворювати наноасоціати, краще засвоюватись живими організмами та менше витратити енергії для перетравлення їжі тощо). Слід зазначити, що харчові продукти із топінамбура та інших плодів та овочів з перерахованими властивостями не можливо було отримати з використанням традиційних методів переробки сировини. Отримані натуральні оздоровчі рослинні пребіотичні добавки та продукти із топінамбура не мають аналогів у світі.

Наведені в монографії нанотехнології натуральних добавок і оздоровчих продуктів призначені для впровадження як на великих, так і на малих підприємствах харчової галузі, зокрема закладах ресторанного бізнесу і торгівлі (кулінарних, кондитерських цехах тощо).

Автори сподіваються, що наведені результати аналізу даних літератури, а також результати власних фундаментальних і прикладних досліджень будуть мати практичну цінність, як для України, так і для різних країн світу, що пов'язано з дефіцитом харчових продуктів та натуральних добавок з високим вмістом БАР. На думку авторів, не зважаючи на цілющі властивості БАР рослинної сировини (зокрема, фруктів, ягід, овочів, грибів та інш.) їх біологічний потенціал (за вмістом вітамінів та різних компонентів (фенольних сполук, поліфенолів, каротиноїдів, хлорофілів, пектинів та інших пребіотичних речовин тощо)), що закладений природою, використовуються тільки частково. Відбуваються значні втрати біологічного потенціалу корисної плодоовочевої сировини, як при переробці в харчові продукти, так і при зберіганні та споживанні. При цьому кожного року їх втрати на планеті Земля складають сотні мільярдів тонн.

Одним із основних способів збереження всього цінного, що міститься в плодоовочевій сировині, та використовується в міжнародній практиці, є впровадження ресурсозберігаючих та безвідходних технологій виробництва. При цьому ніхто, крім авторів монографії, ніколи не підіймав питання про те, що в плодах і овочах, а також в інших видах рослинної сировини існують в значній кількості приховані (зв'язані) форми низькомолекулярних БАР та високомолекулярних сполук – біополімерів (білку, пектину, целюлози тощо). Вперше в світовій практиці отримано результати, які свідчать про те, що в свіжих плодах і овочах закладені значні приховані резерви як низькомолекулярних, так і високомолекулярних сполук. Це дозволяє при переробці рослинної сировини в дрібнодисперсні добавки та продукти не тільки зберегти всі корисні речовини, що закладені в них природою, а також переконливо продемонструвати на різних видах рослинної сировини,

що в ній міститься значна кількість зв'язаних, прихованих, неактивних форм БАР та біополімерів, які не використовуються людством.

Запропонований напрямок глибокої переробки інулінвмісної рослинної сировини, технологічні прийоми та розроблені нанотехнології оздоровчих добавок та продуктів дозволять максимально використувати закладений в сировині біологічний потенціал, що адекватно збільшенню врожайності плодоовочевої сировини в декілька раз. Впровадження розроблених нанотехнологій добавок та продуктів із топінамбуру та інших овочів для здорового харчування буде сприяти поліпшенню здоров'я людей шляхом розширення асортименту натуральних продуктів високої якості вітчизняного виробництва та зменшення залежності України від синтетичної та низькоякісної продукції закордонного виробництва.

Від традиційних отримані продукти для здорового харчування відрізняються тим, що збагачені натуральними рослинними вітамінами, зокрема, L-аскорбіною кислотою, каротином, природними детоксикантами, антиоксидантами та пребіотичними речовинами та виготовлені без шкідливих харчових домішок. За їх вмістом перевищують відомі аналоги та призначені для імунопрофілактики та харчової безпеки населення. Розроблені нанотехнології нанодобавок та нового покоління натуральних оздоровчих продуктів ХХІ століття вже сьогодні готові до впровадження у виробництво, як засоби для зміцнення імунітету населення України та світу, попередження та профілактики захворювання на COVID-19 та інших негативних факторів довкілля і чекають свого інвестора.

Монографія призначена для широкого кола читачів: для фахівців харчової промисловості, особливо для тих, що займаються переробкою плодів, овочів, грибів, інших видів рослинної сировини в оздоровчі продукти, для фахівців закладів ресторанного господарства та торгівлі, санаторіїв, шкіл, дитячих садків, для наукових співробітників, які розробляють інноваційні технології нового покоління функціональних оздоровчих продуктів. Крім того, призначена для науковців, лікарів, дієтологів, фармакологів, фахівців законодавчих організацій в галузі здорового харчування, зокрема МОЗ України та для всіх, кому не байдужі проблеми здоров'я людей. Монографія може бути використана як навчальний посібник для студентів, аспірантів та докторантів закладів вищої освіти харчового профілю, а також інвесторів.

## *INTRODUCTION*

Nutrition is one of the most important factors in a person's life, on which health, longevity, time of active functioning of physiological systems of the human body, etc. depend. The gradual increase in the total population of the planet and the scarcity of food resources have led to an exacerbation and the need to address the problem of providing the population with food. Today, every 8th inhabitant of the planet is starving and 2/3 of humanity is experiencing a constant shortage of food products. Products with a high content of protein, biologically active substances (BAS), in particular vitamins, minerals and other phytocomponents, are especially lacking. Simply increasing the production and consumption of food resources cannot solve the problem of nutrition. It should be rational, balanced in chemical composition, and meet the basic criteria and provisions of nutrition science, developed by the International Health Organization FAO/WHO, the Ministry of Health of Ukraine and the Institute of Food Hygiene of the Ministry of Health of Ukraine. According to them, a special place in human nutrition along with proteins play biologically active substances, in particular, various types of phytoingredients, the sources of which are fruits, berries, vegetables, natural spices, medicinal, spicy-aromatic plant raw materials. The latter have been used in the diet of the population since ancient times. As far back as 2,300 years ago, the Greek physician Hippocrates believed that fruits, berries, vegetables, various roots, medicinal, spicy and aromatic herbs are food and medicine at the same time. At the end of the twentieth century, the situation changed significantly. There was a rapid development of chemistry, which led to a revolution in pharmacology and the emergence of a new borderline between food science and pharmacology, a field called pharmanutriciology. Various types of artificial vitamins, minerals, etc. were synthesized, widely advertised, and used in diets alongside and instead of natural fruits and vegetables. The next result of the development of chemistry was the emergence of a wide range of artificial food supplements (thickeners, structurants, flavor enhancers, emulsifiers, dyes, flavors, preservatives, etc.), the use of which significantly reduced the cost of food products, as it allowed to use low quality raw materials, non-traditional raw materials or their substitutes. Since then, it has become unprofitable for producers to produce food products using high-quality natural fruit and vegetable raw materials that have a high cost. International practice has begun to produce a wide range

of artificial and simulated foods, including synthetic analogues of milk, meat, fish, cereals, vegetables and more. The obtained products in appearance and taste are almost indistinguishable from natural ones, but have a much lower price. The volumes of their production increase every year. The era of widespread use of food impurities in the production of almost all food products has begun. According to statistics, the annual consumption of food impurities per capita over the past 20 years has gradually increased and today is about 2.5 kg per year.

A significant disadvantage of such products, according to Academician of the Russian Academy of Medical Sciences Volgarev M.N. – an authoritative scientist and specialist in the field of nutrition, biologically active and food supplements is the fact that "chemical food impurities" used in the manufacture of food products (dyes, thickeners, structurants, flavor enhancers, preservatives, etc.) in the human body are antagonists of vitamins, minerals that block their beneficial effect. It should be noted that every year in the scientific literature increases the number of research results that confirm the harmful effect on the human body in the presence of a wide range of products for mass consumption of artificial chemical, synthetic and modified food supplements. It has been determined that the consumption of foods that contain food supplements results in various forms of allergies, cardiovascular, cancer, etc., ie deterioration of public health. In parallel, modern nutritionists, doctors, scientists in the field of food technology and healthy eating pay attention to the colossal health effects on the human body of phytochemicals from various fruits and vegetables, herbs, natural spices and others.

Therefore, today in international practice, the requirements for food products are changing, both for consumers and for companies engaged in their production and sale. The main requirement for food is maximum naturalness, the presence in the composition of products of components and substances that promote health, as well as the absence in the composition of products, that have become traditional, food supplements and synthetic components. The authors of the work are engaged in the development of technologies of such health products from fruits, vegetables, spices and natural supplements from them for the enterprises of the food industry and dishes for restaurants.

The monograph is devoted to the development of nanotechnologies and a new direction of deep processing of inulin-containing plant raw materials (in particular, topinambour tubers) and other fruits and vegetables into the nanosupplements and food products for healthy nutrition. This direction is based on the use as an innovation of the complex action

on the raw materials of cryogenic "shock" freezing and fine-dispersed grinding, which are accompanied by processes of cryomechanodestruction, cryomechano-chemistry and cryomechanoactivation. A new method of intensification of technological processes in the processing of inulin-containing raw materials (topinambour) allows cryomechanodestruction of hardly digestible biopolymer – inulin to a large extent (45...55%) to individual monomers – fructose, i.e. to transform it to easily digestible form. In addition, it is discovered the hidden, inactive forms of biopolymers in particular pectin and various BAS, which were transformed into a free, easily digestible nanoform.

The urgency of the work today is connected with the need to solve the global problem of increasing the immunity of the population, which decrease is a consequence of the unbalanced nutrition, deficiency of vitamins, protein and other BAS in diets, general deterioration of the ecological situation in the country and in the world, a pandemic that is associated with COVID-19. It is possible to increase immunity by regular consumption of functional healthful additives and products that have a significant content of biologically active phytochemicals of plant raw materials, which help to strengthen the body's defenses. In addition to vitamins and minerals, such substances as carotenoids, phenolic compounds, chlorophylls, tannins and aromatic substances and other phytochemicals of plant raw materials (particularly inulin, pectin, dietary fiber, etc.), which are non-digestible components of food that have two protective functions in the gastrointestinal tract of the human body. Firstly, they act as complexing agents and detoxifiers, forming in the gastrointestinal tract with heavy metal ions and other types of harmful substances non-soluble complexes, contributing to their excretion from the human body. It is important now, when the structure of nutrition has changed and the vast majority of foods are manufactured using a significant amount of food additives, the presence of which in the products can cause harm to the human body. Secondly, they act as prebiotic substances – non-digestible food components that stimulate the growth and metabolic activity of one or more groups of their own bacteria in the human body and help maintain the balance of intestinal microflora in the gastrointestinal tract. According to the leading medical institutions, the state of the health of the intestinal mucosa as well as the human immunity depends on the intestinal microflora 80%.

Potential raw material for the production of functional healthful products and additives that have prebiotic properties and contribute to the strengthening of the body's defenses is topinambour. It is one of the main

crops in the USA, Canada, Brazil, France, Belarus etc., which is used in the food, pharmaceutical and other industries as raw materials for the production of healthful and dietary foods, phyto-drugs, bioethanol and other useful products that are demanded in domestic and foreign markets.

The value of topinambour for the food industry is determined primarily by its carbohydrate composition, since the dry substances of topinambour tubers are 80% represented by prebiotic inulin, which is the only natural polysaccharide that is 95% composed of harmless for diabetics sugar – fructose. In addition, the content of vitamins C, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, as well as the content of iron, silicium, zinc in topinambour exceeds the carrots and beets 3 times. The difficulty in processing of topinambour is that there is the oxidation of phenolic compounds in the presence of oxygen under the action of the enzyme polyphenol oxidase with the formation of dark colored substances, which significantly spoils the color of the finished product. In addition, existing technologies of processing of topinambour into various additives in the form of powders, pastes using steam-thermal treatment, drying, do not allow transforming the part of inulin into easily digestible fructose. The treatment with enzyme preparations allows the transformation of about 10% of inulin to fructose. In this regard, it is important to search for technological methods and to develop technologies that allow obtaining the high quality supplements and products from topinambour.

High technologies with the use of innovations occupy a special place among food technologies that are used in the manufacture of healthful products from fruits, vegetables and other food raw materials, as they retain maximum of the BAS of fresh raw materials. Today, there is a "boom" in creation of nanotechnologies across the world in a various industries, including the food industry. In the food industry, nanotechnology developments are mainly concerned with imitation and artificial food products using chemical, synthetic components and modified products. As for development of nanotechnologies of production of products from natural raw materials, both vegetable and animal, such data are not available in the international practice. For many years, the authors of the monograph have been working in the field of creating various nanotechnologies of food products made from natural raw materials, without food supplements and synthetic components. This is due to the fact that at the end of the twentieth century it became possible to purposefully obtain fine-dispersed systems with particles in the range (1-100 nm) with the use of cryogenic processing of raw materials and a new generation of various mechanical activators-shredders, cutters, extruders,



etc. At the same time, there is an opportunity to conduct researches and developments at the molecular, atomic and micromolecular levels, which allows obtaining the materials, systems, structures, products, etc. with fundamentally new consumer properties. This intensification direction of technological processes in deep processing of raw materials with the use as technological innovation – fine-dispersed grinding, initially with the use of low (cryogenic) temperatures was called "cryomechanodestruction", "mechanoactivation", "cryomechanochemistry", "mechanochemistry". At the same time, the mechanical and cryogenic destruction, mechanoactivation, cryomechanochemistry, mechanochemistry take place during the processing of raw materials. The use of these processes allows processing of raw materials to be more efficient and deeper and to obtain the products in nanoscale form, which is qualitatively new in chemical composition and technological characteristics. The mentioned products cannot be obtained using conventional processing methods and technologies.

It should be noted that cryomechanochemistry and mechanochemistry, as a field of study of chemical phenomena and chemical processes arising from various mechanical influences, in particular in fine-dispersed grinding and in the cryoprocessing of raw materials for chemicals in various industries is a promising direction in many fields of research in over the world. These include Japan, the United States, Germany, Kazakhstan and others. Today, there are known the promising methods of cryogenic mechanical grinding and alternative ones without the use of cold. The use of these methods leads to an increase in the degree of dispersion of grinding materials due to mechanical/cryomechanical destruction and mechanoactivation, cryomechanochemistry of substances and materials. It allows obtaining the qualitatively new product. Advanced methods of fine-dispersed grinding have already found wide application in metallurgical, textile, chemical, aviation, construction industry, etc. For example, it is possible to obtain nanopowders of refractory metals, the inclusion of which to the composition of metals and alloys leads to an increase their strength and durability 2.0...3.0 times. The use of perspective methods of grinding allowed to develop technologies of powder metallurgy, technology of plastics with non-scratching surface, technology of textile production with water and mud-repellent properties, etc. Mechanisms of mechanochemical processes occurring with inorganic polymeric materials under the influence of mechanodestruction, mechanical activation, are described in

the classic monograph of N.K. Baramboym "Mechanochemistry of macromolecular compounds".

Analysis of periodical scientific and technical literature has shown that promising methods of fine-dispersed grinding, leading to processes of mechanodestruction (including cryodestruction), mechanoactivation, mechanochemistry and cryomechanochemistry are almost not studied in the food industry. The mechanisms of mechanochemical and cryomechano-chemical transformations, that happen with BAS and food biopolymers are not explained also. This field of research in the food industry requires deep fundamental and applied investigations. An exception is the scientific research carried out at the Research Laboratory of "Innovative cryo- and nanotechnologies of plant additives and healthful products" at the Department of Food Technologies for the Processing of Fruits, Vegetables and Milk of KhSUFTT at the scientific school prof. R. Pavlyuk and prof. V. Pogarskaya. During the last 30 years the authors have conducted large-scale fundamental and applied researches in the development of cryogenic fine-dispersed grinding methods and the search for alternative methods of grinding (without the use of low temperatures) and the development of technologies for fine-dispersed additives in the form of frozen nanopuree, extracts from different types of food raw materials. Fruits, vegetables, unconventional medicinal and spicy aromatic plant raw materials, mushrooms, bee products, grain sowing, buckwheat husk, etc. were used as raw materials. On the basis of many years of scientific researches, the authors of the monograph for the first time in the world have proposed a new direction of deep processing of natural food raw materials and developed nanotechnology of plant food additives and healthful products with unique characteristics that have no analogues in the world. The last one are considered in this monograph in the context of inulin-containing raw materials (topinambour). The new direction is based on the use as innovations of cryomechanical destruction, mechanoactivation, cryo- and mechanochemistry, which give the opportunity to receive fundamentally new natural products – "NatureSuperFood", which cannot be obtained with the help of existing technologies. They differ from the analogues by the record content of biologically active substances. They have antioxidant, detoxifying, immunomodulatory, antitumor activity and they are in nanosized form. The authors have discovered that there are "hidden" forms of low-molecular weight biologically active substances in vegetable raw materials, fruits, vegetables, mushrooms, bee products, spices, medicinal

herbs that cannot be removed and determined using traditional chemical methods of research. The authors have proved that the mass fraction of low-molecular weight BAS is increased under the influence of processes of cryo- and mechanodestruction, cryomechanochemistry, mechanoactivation in vegetable raw materials due to the transition of their part from the latent (biopolymer-bound) state to the activated free form. The mechanisms of these processes are discovered. For example, it is found that the content of vitamin C is 3.0-4.0 times higher in fruit and vegetable cryopastes than in fresh raw materials. The same patterns were obtained for carotenoids, phenolic compounds and other BAS. The authors also obtained sensational facts about increasing the extraction of low-molecular-weight BAS from a biopolymer-bound (hidden) state into a free (active) form from fruits and vegetables, which can be determined using existing chemical research methods. Mechanisms of the processes occurring in fine-dispersed grinding are discovered. According to the authors they are related to mechanodestruction, cryomechanodestruction, mechanocracking of BAS nanocomplexes with biopolymers and minerals.

The purpose of the authors of this monograph – to attract the attention of scientists, researchers, technologists to the important role of fine-dispersed grinding and cryogenic "shock" freezing in biochemical, chemical and enzymatic processes during the deep processing of food inulin-containing plant raw materials (tubers of topinambour) into the food healthful additives and products of the complex action. According to the authors, they will be carried out differently than with the use of existing traditional technologies. At the same time, there are complex processes, such as: cryomechanical destruction, cryomechanochemistry, disaggregation, mechanocracking (bond breaking) of not only low-molecular weight BAS with biopolymers, but also high-molecular weight compounds (inulin, pectin, cellulose, proteins, etc.) and nanocomplexes of biopolymer – BAS. It allows extracting BAS from the bound forms of tubers of topinambour more complete, that can be fixed by chemical methods. That is why the formulation of problem is to attract attention to an important issue that plays a significant role in the fuller utilization of the biological potential of plant inulin-containing raw materials, their natural healing biologically active substances, which are embedded into the plant cell by nature and are in hidden and bound form in it. So, they used by mankind for 1/3 only, and the last 2/3 go to waste. It is known that part of valuable vegetable BAS is difficult to absorb by the human body (30...50%) and there are significant losses of BAS (from 20 to 80%) in traditional methods

of processing plant raw materials. At the same time in the international practice it is customary to be guided to preserve all vitamins and other chemicals which are naturally contained in plant cells of fresh raw materials as much as possible during the manufacture of various food additives and products from fruits and vegetables (including tubers of topinambour). The authors of the monograph have proposed a new approach in the processing of inulin-containing plant raw materials. In particular, a new approach to the deep processing of vegetable raw materials has been developed. Its difference is not only to preserve all the vitamins and other biologically active substances and nutrients that are contained in the cells of plant raw materials, but also to maximize the opening of plant cells and revealing from them not only free forms of chemicals, but also the destruction of their bound (still unknown) forms with biopolymers, minerals, which, according to the authors, are combined into nanocomplexes and nanoassociates with other substances. In addition, the new approach allows conducting the cryodestruction of biopolymers – inulin, pectin, protein, cellulose from the hard digestible form into the easily digestible form to individual monomers. The end result of deep processing of topinambour is to unleash the biological potential of the plant cell as completely as possible, to release the hidden forms of low-molecular weight BAS without their complication (i.e., to avoid the formation of oxidative radicals and new substances) and to transform (destruct) biopolymers (inuline, pectine, protein, cellulose) to the individual monomers in an easily digestible for human body form.

The basic idea that the authors develop in the monograph is that cells of fruits, berries, vegetables and other plant raw materials are a biochemical pantry (or layer) of various natural biologically active substances and nutrients. One cell can contain from hundreds to thousands of different chemical substances from which they are build. It should be noted that fruits, berries, vegetables are breathing products – a complex heterogeneous biosystem, where a variety of enzymes are contained and continuously act. Particular role is played by oxidizing enzymes (peroxidase, polyphenoloxidase, catalase, ascorbate oxidase, lipoxidase, etc.), which contribute to the oxidation and destruction of vitamins and other BAS in cells, as well as hydrolytic enzymes, which cause the destruction of biopolymers and nanocomplexes of cell membranes, biomembranes, intracellular inclusions, etc. In plant cells and in the intercellular space, enzymatic, biochemical, chemical and microbiological processes always take place. They must be properly managed in order not only to preserve but al-

so to extract the biological potential of the various chemicals that are contained in the cell. The condition for the occurrence of these processes is movement, interactions of chemical substances and the presence of certain energy. According to the authors, some of the chemical substances in the plant cell are in the free form and some of them are in the inactive (hidden) or bound form (with biopolymers in nanocomplexes and nanoassociates). In order to extract them, it is necessary to provide energy (low-temperature, mechanical, electrolytic, steam-thermal, high-pressure, etc.).

During the development of a new direction of deep processing of inulin-containing plant raw materials the authors used a complex effect of various energies, in particular the energy of low temperatures (cryoprocessing) and the energy of mechanical fine-dispersed destruction.

It should be noted that one of the most significant breakthroughs at the beginning of the 21st century in the world science in various fields of industry is the involvement of processes at the molecular level in researches. In our case, the emergence of a new scientific direction of researches in the mid-80's of the twentieth century (mechanoactivation, cryomechanodestruction, cryo- and mechanochemistry) during mechanical grinding gave us the opportunity, firstly, to explain the mechanism of binding of individual macromolecules of biopolymers in plant cells (proteins, polysaccharides, heteropolysaccharides, etc.) into the complex biological structures – nanocomplexes, nanoassociates. Secondly, to explain the mechanisms of binding of biopolymers or their fragments with low-molecular weight BAS, the molecular size of which ranges from 0.5 nm to 1.5 nm. And the third is the mechanisms of destruction and extraction of hidden forms of both low-molecular weight and high-molecular weight compounds. Our recent discoveries in cryogenic "shock" freezing and fine-dispersed grinding have given us impetus to detect similar phenomena during the use of steam-thermal treatment of raw materials (parothermolysis) and cryogenic "shock" freezing (cryolysis) as well as during the grinding without the use of low temperature.

The authors of the monograph also discovered the activation and inactivation of oxidative enzymes for the first time during cryogenic "shock" freezing and cryogenic grinding of fruits, vegetables and mushrooms, including topinambour at different freezing rates and at different end temperatures in the product. The mentioned processes have a great importance in the storage and thawing of fruits and vegetables. They have given the opportunity to the authors to obtain frozen fruits, berries,

vegetables, slices of topinambour, which exceed the content of BAS 2.0...2.5 times. The mechanisms of these processes are disclosed.

It should be noted that in the deep processing of plant raw materials, including topinambour tubers, the problem of creating nanotechnologies of plant additives and products with specified properties is much more complicated. This is due to the fact that complex heterogeneous plant fine-dispersed biosystems are considered. Their composition, in addition to various types of low-molecular weight BAS, includes high-molecular weight soluble compounds (inulin, pectin, especially protopectin, cellulose, proteins, starch and other chemical compounds) with molecules ranging from 200 to 1000 nm, as well as their nanocomplexes and nanoassociates crosslinked by hydrogen bonds, inductive interactions, ether bonds, disulfide bridges, etc. Effects on biological systems of intermolecular interactions should be considered also. During the development of nanotechnology of food products, it is important that the grinding does not produce free oxidative radicals, does not destroy molecules in several nanometers and does not occur mechanochemistry with the formation of new substances of unknown nature, which can be detected even visually (in particular, darkening of product, its caking, etc.). It should be noted that each specific nanotechnology (which has been developed by the authors) has its own "know-how", which depends on the architectonics, the chemical composition of the product, the processing temperature, the degree of grinding, as well as the features of the processes occurring in the semi-finished products: biochemical, microbiological, mechanochemical physical-chemical and others.

The authors of the monograph have developed a unique method of cryoprocessing and nanotechnology of transformation of inulin and other prebiotics (pectin, cellulose, protein) of topinambour tubers into the easily digestible form – monomers, in particular, fructose, fructosans, galacturonic acid,  $\alpha$ -amino acids (45...60%). Simultaneously, it was extracted 2.0...2.2 times more hidden forms of BAS from the tubers of topinambour than it is contained in fresh raw materials. Among these phytocomponents are low-molecular weight phenolic compounds, polyphenols, L-ascorbic acid and others. It is developed the nanotechnology of healthful products from topinambour, which have no analogues, in the form of frozen puree and powders in nanosized, easily digestible form with a record content of BAS. It was developed the healthful products (various lines of green, orange and pink colors) on the basis of fine-dispersed cryopastes and powders from topinambour: juice nanodrinks, combined

sour milk nanodrinks, both on milk whey and sourdough, curd desserts, snacks, nanosorbets, bakery and confectionery products etc.

Model studies have shown that freezing by the traditional way to a temperature of  $-18^{\circ}\text{C}$  in the freezer and by the cryogenic method with the use of liquid nitrogen leads to an increase in activity of the oxidative enzymes of topinambour 1.3...1.4 times. In addition, it was found that the use of cryogenic "shock" freezing to a temperature of  $-32\text{...}-35^{\circ}\text{C}$  and below inside the product leads to inactivation of enzymes which activity is not restored during further fine-dispersed grinding and storage. It also prevents the darkening of the product. The mechanism of the processes is revealed.

There is presented the obtained by the authors sensational facts in the monograph and it is made the discovery of hidden inactive forms of high-molecular weight non-digestive components – prebiotics, in particular polysaccharides (pectic substances, protopectin) in the processing of topinambour, which are bound in difficultly soluble nanocomplexes with other biopolymers, mineral substances, low-molecular weight biologically active substances (BAS). They were found in the deep processing of topinambour with the use of cryomechanodestruction in the development of nanotechnology of healthful additives and food products in nanoscale form. It gave the opportunity to authors to offer a unique direction of deep processing of topinambour, which allows not only to preserve all valuable natural BAS, but also convincingly demonstrate that it contains a large number of bound (hidden) forms not only of BAS, but also high-molecular weight biopolymers, which humanity did not even suspect. The authors found that the amount of poorly soluble pectic substances in a bound inactive form 3.0...3.5 times higher in topinambour than it has been possible to extract from the raw materials with the use of traditional processing methods. It also allowed transforming 70% of them into a soluble nanoform.

The authors of the monograph revealed that cryogenic "shock" freezing and fine-dispersed grinding result to destruction of protein molecules to individual monomers (aminoacids) and to transformation of aminoacids from a bound form to a free form (45...55%) during the obtaining of frozen and powdered fine-dispersed additives. The increase of the mass fraction of  $\alpha$ -aminoacids in the free state was confirmed by IR-spectroscopy. It has been found that conformational changes of molecules such as an increase in the diameter of molecules, nuclei, shells and a decrease in nucleus filling by hydrophobic residues occur.

The authors have also developed nanotechnology of cryo-frozen and powdered fine-dispersed additives from inulin-containing raw materials

(topinambour) with the use of cryomechanodestruction during cryogenic "shock" freezing and fine-dispersed grinding. Their common use allows inactivation of oxidative enzymes, preservation and increase the biological value of the obtained additives in comparison with the fresh raw material; technological processes and technological parameters are substantiated, technological schemes of production are developed, the quality of obtained additives by the content of biologically active phytocomponents is studied (it exceeds the existing analogues), regulatory documentation (TC) is developed, industrial testing is carried out, feasibility study is calculated. Nanopowders from topinambour in the form of cryopuree and nanopowders are recommended as four in one: sources of natural phytocomponents, prebiotic substances, BAS (phenolic compounds, tannins, L-ascorbic acid), structure-forming agents and gel-forming agents.

Formulations, technological schemes and technologies of new healthful products (combined fermented drinks, bio-yoghurts, sour-milk desserts, fruit and vegetable nano-drinks, bakery products) were developed with the use of natural additives from topinambour. The new healthful products have a record content of natural BAS and prebiotic substances, they don't contain synthetic components and food additives, their quality exceeds the known world analogues.

Many years of basic and applied research and the authors' discoveries in the field of food technology and the development of food nanotechnologies, including the processing of topinambour tubers for large food and restaurant businesses have allowed the authors to draw a stunning conclusion: the reason for starvation of a part of the population on Earth is not the full use of biological potential of food plant raw materials. During the processing of raw materials into a ready-to-eat products and during the absorption by the human body, the biological potential of them is used no more than 30...50%.

The urgency and timeliness of the information in the monograph is linked to solving the global problem of reducing immunity in the population in many countries of the world. It is caused by a deficiency (about 50%) in the diets of biologically active substances, protein, hunger (every eighth inhabitant of the Earth is starving) and is complicated by the general deterioration of the environmental situation in the world. It is possible to increase immunity by consuming products with a high content of BAS (vitamins,  $\beta$ -carotene, protein, minerals, chlorophyll, bioflavonoids, polyphenols, pectin, prebiotics, etc.). The main source of the listed BAS is fruits, berries, vegetables, including topinambour, medicinal and spice-



aromatic raw materials, bee products and others. In this regard, healthful products are used in the leading countries of the world to strengthen the immune system, especially from fruits, berries, vegetables, including inulin-containing raw materials. Scientists of leading countries of the world, in particular, in Japan, the USA, Germany, England, the Netherlands, etc., are engaged in the development of technologies of such products. It is one of the priority and current scientific trends in the food industry, which is intensively developing in the world.

The monograph is a collective publication performed by specialists of the Kharkiv State University of Food Technology and Trade (KhSUFT) of the Department of Food Technologies of products from Fruits, Vegetables and Milk and Innovations in Healthy Nutrition in collaboration with specialists of the National University of Food Technologies (NUCT) of the Department of Canning Technology.

The research was conducted at the Department of Food Technologies of products from Fruits, Vegetables and Milk and Innovations in Healthy Nutrition in the Research Laboratory of "Innovative Cryo- and Nanotechnologies of Plant Additives and Healthful Products", which is equipped with modern semi-industrial equipment such as: cryogenic program-controlled freezer, using the liquid and gaseous nitrogen, cryogenic and low temperature grinders, sublimation vacuum dryer, convective dryer, wiping machine and modern equipment which is used in elite restaurants (steam-convection oven (Italy), shredders (France), homogenizers (France), freezer (France), dough mixing machine (Italy), mixes, Thermomix (France), juicer (France, Italy) and others.

The monograph summarizes the author's most recent attempts to understand the biochemical, cryomechanochemical, enzymatic, microbiological, chemical phenomena and non-enzymatic catalysis during the complex effect of cryogenic "shock" processing and mechanical fine-dispersed grinding on inulin-containing plant raw materials – topinambour. The use of these processing methods has allowed to obtain the final products from topinambour with fundamentally new properties, in particular with improved chemical composition (due to extraction of bound hidden forms of chemical substances) in nanoscale form with other functional technological properties (able to form gel, dissolve, able to form nanoassociates, to be absorbed better by living organisms, and less energy consumed for digestion, etc.). It should be noted that until now it has not been possible to obtain products from topinambour with the listed properties with the use of traditional processing methods of raw materials. The obtained natural

healthful plant prebiotic additives and products from topinambour have no analogues in the world.

The nanotechnologies of natural additives and healthful products listed in the monograph are intended for introduction both at large and small food industry enterprises, in particular restaurants and trade establishments (culinary, confectionery shops, etc.).

The authors hope that the presented in the monograph results of the analysis of the literature data, as well as their own fundamental and applied research, will to have a considerable practical value, both for Ukraine and for different countries of the world. This is due to the fact that there is a shortage of food products on the Earth, especially natural and dietary additives with high level of BAS and a large part of the population is starving. According to the authors, despite the healing properties of BAS (vitamins, phenolic compounds, polyphenols, carotenoids, chlorophylls, pectins and other prebiotic substances, etc.) of plant raw materials (including fruits, berries, vegetables, mushrooms, etc.), their biological potential is used, unfortunately, only partially. There is a significant loss of biological potential of useful food raw materials (fruits, berries, vegetables) during the processing them to the food products, as well as during their storage and consumption. At the same time each year the losses on the Earth are the hundreds of billions of tons.

In the international practice today one of the main ways of storage of all useful substances in fruit and vegetable raw materials that is the introduction of resource-saving and waste-free production technologies. At the same time no one, except the authors of this monograph, has ever raised the question that in fruits and vegetables, as well as in other plant raw materials, there are in large numbers hidden (bound) forms of low-molecular weight BAS and high-molecular weight compounds – biopolymers (protein, pectin, cellulose, etc.). The authors of the monograph for the first time in the world have obtained results that show that fresh fruits, berries and vegetables, including topinambour, contain the significant hidden reserves of low- and high-molecular weight compounds. This allows not only to preserve all useful natural chemical substances, but also to demonstrate convincingly on various types of plant raw materials during of its processing into the food additives and food, that they contain a significant amount of bound, hidden or inactive forms of BAS and biopolymers that do not used by mankind.

The proposed new direction of deep processing of inulin-containing plant raw materials, technological methods and developed nanotechnolo-

gies of healthful additives and products will allow to maximize the use of the biological potential, which is similar to the increase (several times) in the yield of fruit and vegetable raw materials. The introduction of developed nanotechnologies of additives and nanoproducts from topinambour and other vegetables for healthy nutrition will help improve human health by expanding the range of high quality natural foods, including domestic production and reducing the dependence of Ukraine on synthetic and low-quality production abroad.

The products obtained by the authors for healthy nutrition differ from traditional one in that they are fortified with natural plant vitamins (in particular, L-ascorbic acid, carotene, enriched with natural detoxifiers, antioxidants and prebiotic substances, that made without harmful food impurities. Their BAS-content exceeds known analogues and are intended for immunoprophylaxis of population and their food safety. The developed (by the authors) nanotechnologies of nanoadditives and a new generation of natural healthy products of the XXI century are now ready for introduction into production to strengthen the immunity of the population of Ukraine and the world, prevention and prophylaxis of COVID-19 and other negative environment factors and they are waiting for their investor.

The monograph is intended for food industry professionals, especially those who involved in the processing of fruits, berries, vegetables, mushrooms and other plant raw materials into the healthful products, for the restaurants and trade establishments, sanatoriums, schools, kindergartens, for researchers which develop the innovative technologies of a new generation of functional healthful products. In addition, the monograph is also intended for nutritionists – scientists, doctors, dietitians, pharmacologists, legislators in the field of healthy nutrition, in particular the Ministry of Health of Ukraine and for all who are not indifferent to human health problems. The monograph is intended for a wide range of readers. It can be used as a teaching tool for students, graduate students and doctoral students of higher education institutions of food profiles, investors.

## ***РОЗДІЛ 1. НОВИЙ НАПРЯМОК ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ГЛИБОКОЇ ПЕРЕРОБКИ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ: ЗАСТОСУВАННЯ ПРОЦЕСІВ КРІОМЕХАНОДЕСТРУКЦІЇ ТА КРІОМЕХАНОХІМІЇ***

Робота присвячена розробці нового напрямку глибокої переробки інулінвмісної рослинної сировини (зокрема, топінамбура) в оздоровчі нанодобавки та харчові продукти з використанням в якості інновації комплексної дії на сировину кріогенного «шокового» заморожування та дрібнодисперсного подрібнення, які супроводжуються процесами кріомеханодеструкції, кріомеханохімії та кріомеханоактивації. Новий спосіб інтенсифікації технологічних процесів при переробці інулінвмісної сировини не тільки дозволяє зберегти всі вітаміни та інші БАР, але й дозволяє більш повно розкрити біологічний потенціал рослинних клітин і вилучити приховані неактивні БАР і біополімери та в значній мірі (на 45...55%) трансформувати їх в легкозасвоювану наноформу.

Під кріомеханодеструкцією в даній роботі розуміються деструктивні процеси в рослинній сировині наноконкомплексів та наноасоціатів БАР та біополімерів (інуліну, пектину, білків, целюлози та ін.) та окремих біополімерів до їх мономерів під дією кріообробки при кріогенному «шоковому» заморожуванні та дрібнодисперсному низькотемпературному подрібненні з застосуванням як кріоагента рідкого та газоподібного азоту. Кріомеханохімія – це галузь хімічних перетворень (явищ) та хімічних процесів, які виникають при дії різних факторів, зокрема механічної дії, термічних (як високотемпературної, так і низькотемпературної дії) на молекули, наноконкомплекси та наноасоціати в харчовій сировині.

Механоактивація – це активація низькомолекулярних БАР та біополімерів рослинної сировини, які знаходяться у зв'язаному стані, внаслідок механічного впливу під час дрібнодисперсного подрібнення.

У розділі представлені результати огляду літератури за останні 20 років, які стали підґрунтям створення нового напрямку глибокої переробки та нанотехнології заморожених та порошкоподібних дрібнодисперсних оздоровчих добавок із топінамбура та оздоровчих продуктів з їх використанням. В літературному огляді наведений асортимент продуктів та добавок із топінамбура, його загальна характеристика, а також вивчені особливості хімічного складу, лікувально-профілактичні та пребіотичні властивості. Надано аналіз традиційних технологій виробництва пребіотиків та харчових продуктів із топінамбура та розглянуті прогресивні способи переробки плодів, овочів та топінамбуру, а саме кріо-

генне «шокове» заморожування з використанням рідкого та газоподібного азоту та низькотемпературне дрібнодисперсне подрібнення. Крім того, проведено аналіз застосування нанотехнологій в різних галузях та в харчовій промисловості, а також наведені напрямки використання пребіотиків та добавок із топінамбура при виготовленні оздоровчих продуктів.

В задачу роботи входила розробка нанотехнології криозаморожених та порошкоподібних дрібнодисперсних добавок сублімаційного сушіння (СС) із інуліновмісної сировини, зокрема топінамбура, а також оздоровчих продуктів (біойогуртів, сиркових десертів, морозива, порошкоподібних instant продуктів для напоїв, хлібобулочних та кондитерських виробів) з їх використанням, отриманих із застосуванням як інновації процесів криомеханодеструкції та криомеханохімії.

Робота виконувалась за двома напрямками: перший – це розробка технології криозаморожених та порошкоподібних дрібнодисперсних добавок СС із топінамбура у формі пюре та нанопорошків, що відрізняються високим вмістом пребіотичних речовин – важкорозчинних біополімерів (зокрема інуліну, пектинових речовин, целюлози, білку). Крім того, добавки відрізнялися не тільки максимальним збереженням біологічно активних фітокомпонентів (фенольних сполук, дубильних речовин, L-аскорбінової кислоти тощо), але їх більш високим вилученням із прихованих форм за рахунок використання процесів криомеханодеструкції та механоактивації шляхом застосування криогенного «шокового» заморожування в середовищі рідкого азоту та дрібнодисперсного подрібнення.

Другий напрям – це розробка технології нових видів оздоровчих продуктів (комбінованих кисломолочних нанопоїв, сокових напоїв, сиркових десертів, біойогуртів, морозива та хлібобулочних виробів порошкоподібних «Instant» нанопоїв) та ін. При виготовленні останніх використовували отримані авторами заморожені та порошкоподібні дрібнодисперсні добавки з топінамбура, що служили як збагачувачі пребіотичними речовинами, біологічно активними фітокомпонентами, а також як натуральні структуроутворювачі та гелеутворювачі.

### **1.1. Аналіз асортименту продуктів та добавок з високим вмістом пребіотиків із бульб топінамбура**

Відомо, що стан здоров'я населення, а також стан імунної системи людини, на 80% залежить від стану кишечника [1–6, 9, 15–20]. З метою підтримання в організмі необхідної рівноваги кишкової мікрофлори у склад щоденних раціонів потрібно включати продукти, що

містять неперетравлювальні компоненти їжі – пребіотики [10–11, 14, 19–22, 27, 103]. Останні повинні відповідати наступним двом вимогам: по-перше, вони не перетравлюються і не всмоктуються у верхніх відділах травного тракту: по-друге, вони селективно ферментуються мікрофлорою товстої кишки, викликаючи стимулювання та активне зростання корисних мікроорганізмів (біфідо- та лактобацил). До таких харчових інгредієнтів відносять полімерні (складні) вуглеводи (неперетравлювальні олігосахариди), зокрема, інулін, пектинові речовини, целюлоза та окремі вітаміни та їх похідні (пантотенова кислота, пантотенат, інозит), біологічно активні імунні білки (глікопептиди та лактоглобуліни) [24–25].

Найбільш відомим пребіотиком є інулін, який в значній кількості міститься в бульбах топінамбуру і побудований із фруктози.

Проведений аналіз літературних джерел показав, що в останні десятиріччя підвищується зацікавленість до інуліновмісної сировини, зокрема цикорію, кульбаби, клубенів жоржини та топінамбуру [47–57]. Останній набуває все більшого розповсюдження в США, Канаді, Японії, Австралії, Голландії, Іспанії, Бельгії, Німеччині. Унікальний хімічний склад, лікувально-профілактичні властивості та біологічно активні речовини створюють передумови його широкого використання в фармакології, косметології, медицині, харчовій промисловості, сільському господарстві для покращення екологічного стану забруднених ґрунтів [47, 48, 51].

Це пов'язано з тим, що полісахариди топінамбуру на 80% представлені інуліном. Відомо, що інулін є найбільш відомим пребіотиком, який побудований із фруктози, особливістю яких є те, що вони здатні збільшувати число корисних анаеробних бактерій і зменшувати популяцію потенційно патогенних мікроорганізмів.

Відомо, що топінамбур можна вживати як у свіжому, так і у вареному, смаженому, запеченому, соленому, маринованому, сушеному або замороженому вигляді. Також, він являється перспективною сировиною для виготовлення багатьох груп харчових продуктів [6, 49, 59–67, 69, 70]. На сьогоднішній день з топінамбура виробляють харчовий пектин, інулін, пектинові екстракти та пектинові речовини, етиловий спирт, кристалічну фруктозу, дієтичні харчові волокна, натуральні барвники, кондитерські та хлібобулочні вироби, кисломолочні та м'ясні продукти, широкий асортимент алкогольних та безалкогольних напоїв, вітамінізованих продуктів підвищеної біологічної цінності [6, 50, 71, 107]. Крім того, багатий склад БАР топінамбура робить цю рослину привабливою до

використання в якості вихідної сировини для створення високоефективних біологічно активних добавок, що можуть бути застосовані в харчовій та кондитерській промисловості при виробництві профілактичних та антидіабетичних продуктів та для дитячого харчування (сиropи, соки, пряники, цукерки, мармелад, ірис, хлібобулочні вироби, лимонад та ін.) [6, 65, 67]. Також топінамбур використовують в фармацевтичній та медичній промисловості при виготовленні лікувальних фармацевтичних препаратів, в першу чергу для хворих на цукровий діабет, ожиріння та атеросклероз [6, 49–50].

Аналіз даних літератури за останні 10 років свідчить, що в міжнародній практиці з'явилась низка біологічно активних добавок (БАД) із топінамбура у формі пюре, паст, порошку (борошна), сиропів, екстрактів тощо, які використовуються для виготовлення функціональних оздоровчих продуктів та для масового харчування [61–65, 68]. В Росії (в Новосибірську, Тамбові) налагоджено виробництво концентрату топінамбура – біологічно активної харчової добавки, екстракту і драже «Топівіт». У Воронежі створені мало-відходні технології переробки бульб на порошок, пюре, високофруктозний спирт і концентрат фруктози [59, 60].

Показано також, що пасту з топінамбура вводять до складу оздоровчих продуктів, зокрема, печива, вафель, начинок для цукерок, шоколаду та ін. [49, 61]. Проводяться дослідження по застосуванню порошку з бульб топінамбура при виготовленні сухих напоїв, соків, сиропів, цукерок [63, 66].

Слід зазначити, що в США з топінамбура в зв'язку з тим, що він має високий вміст пектинових речовин, що дозволяє широко використовувати його у приготуванні соусів, желе, мармеладу, джемів, конфітурів для дитячого та дієтичного харчування [67, 70].

В країнах Європи топінамбур сушать та отримують борошно, яке використовують як один з інгредієнтів комбінованих пребіотиків та рекомендують споживати як потужний засіб у профілактиці та лікуванні багатьох захворювань шлунково-кишкового тракту, і не тільки [69].

Науковці Івано-Франківського національного медичного університету на основі порошку топінамбура створили лікарський засіб «Бі-фтоп», високоефективний для лікування цукрового діабету, кишкового дисбактеріозу та інших захворювань. Асоціація «Укркондитерпром» замовила 1 тис. тон порошку топінамбура в рік, який планує використовувати як наповнювач для виробництва кондитерських виробів

і харчових концентратів, які нададуть продукції радіопротекторні та імунomodуючі властивості [71].

Науковцями державного науково-дослідного інституту хлібопекарської промисловості (м. Москва) розроблені макаронні вироби з пшеничного або житнього борошна (або їх суміші) з додаванням порошку топінамбура. Концентрат топінамбура застосовується в кашах миттєвого приготування «Здоров'як» із цільного зерна пшениці, гречки, рису та сумішей на їх основі.

Вченими Кубанського технологічного університету розроблений та впроваджений у виробництво широкий асортимент консервованих салатів з використанням топінамбура «Весняний», «Краснодарський», «Квашений овочевий напівфабрикат для салатів». Сиропи, пюре, пасти, порошки з бульб топінамбура додають до складу дієтичних сортів хліба з метою уповільнення їх черствіння [65]. Виготовляють також макарони, начинки для пирогів, пиріжків та млинчиків, салати, супи, компоти, киселі, котлети, оладки, запіканки, вареники, біляші, сирники. Розгорнуто також виробництво вин і горілок високої якості, пива, безалкогольних напоїв, поліефірів, молочної та лимонної кислот, винного оцту тощо з використанням добавок із топінамбура [68].

Аналіз ринку показав, що продукти з топінамбура реалізують під наступними торгівельними марками: ТОВ «Топінамбур», ТОВ «Віва», ТОВ «Терра», корпорація «Сибірське здоров'я», ТОВ «Рязанські простори», ТОВ «НПТ «Сузір'я» (Росія); ТОВ «Топідар» (Адігея), ТОВ «Дивинка» (Білорусь), ПП «Лівадія-Бухара» (Узбекистан), «Swanson Health Products», «Chamtor», «Orafti» (США), «SHAANXI SCIPHAR NATURAL PRODUCTS CO., LTD» (Китай), «Sudzucker» (Чехія), «Cascina san Cassiano S.p.a» (Італія). В числі їх асортименту наступні найменування продукції: порошок чистий з бульб топінамбура, порошок хітозановий з топінамбура, топінамбур харчовий з інуліном, клітковина топінамбура, інулін харчовий, чіпси, цукати на фруктозі, драже, варення, джеми, конфітюри. Крім того, з використанням домішок із топінамбура виготовляли хлібці амарантові, киселі, каші миттєвого приготування, батончики фруктово-горіхові натуральні з цукатами із топінамбура, цукерки, вафлі, висівки пшеничні з топінамбуром, сиропи, чайні та кавові напої, цикорій розчинний порошкоподібний з топінамбуром, пивні дріжджі, борошно пшеничне грубого помелу з додаванням 5 % порошку топінамбура, макарони із житнього та пшеничного борошна з топінамбуром, і навіть соус із топінамбура та анчоусів [62, 63, 68].



Втім, успішно в Україні працює тільки один виробник порошку з топінамбура – це селянсько-фермерське господарство «Мальва» в Одеській області. Проте, обсяги його виробництва досить невеликі – до 20 тонн продукції на рік. Але цієї кількості недостатньо, оскільки за даними Міністерства охорони здоров'я України потреба в нашій країні в порошок з цієї культури складає понад 720 тонн на рік. Крім того, з метою профілактики серед населення розвитку порушень вуглеводного обміну, рекомендовано вводити порошок топінамбура як харчову добавку в продукти в кількості не менше 100 грам порошку на 1 людину, що становить в цілому по Україні до 4600 тонн на рік. Тобто, актуальним є поширення асортименту продуктів переробки топінамбура та збільшення обсягів їх виробництва [6, 48].

Всі продукти, що містять високу кількість пребіотичних речовин, зокрема, пектинів, целюлози, інуліну, білків та ін., вважаються функціональними харчовими продуктами. Фруктоолігосахариди, до яких відносяться інулін, використовують як наповнювач або в ролі додаткової клітковини в дитячому харчуванні, різних видах кондитерських виробів, в твердих цукерках, морозиві, йогуртах, джемах, мармеладі, сухих супах та завтраках швидкого приготування [12–13].

В Одеській національній академії харчових технологій (м. Одеса, Україна) розроблені нові синбіотичні БАД, що містять мультипробіотичний компонент, що складається з 3-4 штамів представників нормальної мікрофлори і пребіотичні вуглеводи (фруктооліго-сахариди, ізомальтоолігосахариди). Значні перспективи щодо застосування цих добавок вбачаються у збагаченні хлібобулочних виробів, соків, напоїв, консервів, м'ясних виробів, концентратів [12].

## **1.2. Загальна характеристика, особливості хімічного складу та лікувально-профілактичні властивості топінамбура – сировини для отримання кріозаморожених та порошкоподібних дрібнодисперсних добавок**

Відомо, що бульби топінамбуру відомі високим вмістом пребіотику інуліну та користуються популярністю в багатьох країнах світу. В роботі як основну сировину при розробці заморожених та порошкоподібних дрібнодисперсних добавок з використанням кріодеструкції та механоактивації застосовували топінамбур. Нижче наведена його характеристика, особливості хімічного складу та лікувально-профілактичні властивості.



Рис. 1.1 - Бульби топінамбура

Топінамбур (*Helianthus tuberosus*) – вид багаторічних трав'янистих бульбистих рослин роду Соняшник, родини Айстрові (*Asteraceae*). Рослина відома також під назвою «земляна груша», «ієрусалимський артишок», «бульба», «бульва», «бараболя».

Культура має потужну кореневу систему. Залежно від ґрунтокліматичних умов, у висоту рослина може вирости до 3-4 метрів, а ширина стебла в період цвітіння досягає максимального розвитку і може становити від 18 до 43 мм [6, 48].

До кореневищ топінамбура прикріплені продовговаті бульби, що мають різне забарвлення. Колір бульб може варіюватися від жовтуватого до коричневого, а іноді червоного. Бульби топінамбура вкрай невибагливі до мороза, тому можуть «зимувати» в ґрунті, не втрачаючи при цьому своїх цілющих властивостей [6].

Свіжий топінамбур відрізняється солодкуватим смаком, що віддаленно нагадує смак горіхів. Термічно оброблений бульбоплід за смаком нагадує гриби. В усьому світі налічується понад 300 сортів, в Україні, в основному, вирощують два сорти – це «Скороспілка» та «Інтерес», які схожі за своїм хімічним складом і, у зв'язку з цим, рівною мірою використовуються як в народній медицині, так і в харчовій промисловості [6, 58].

**Біологічно активні речовини топінамбура, особливості його хімічного складу.** Топінамбур є традиційним джерелом пребіотика – інуліну в Україні. Харчова цінність цієї рослини зумовлена його хімічним складом, який залежить від біологічних особливостей сорту і ґрунтово-кліматичних умов. Вміст сухих речовин в бульбах топінамбура коливається в межах 19...30%. Непостійний в топінамбурі і склад вуглеводного комплексу, який також залежить від сорту, умов вирощування та зберігання. Вуглеводний комплекс представлений в основному (на 80 %), пребіотиком інуліном – єдиним натуральним полісахаридом, основним структурним мономером якого (на 95%) є залишки

нешкідливого для діабетиків цукру – фруктози, сполучені β-фруктозидними зв'язками. Так, масова частка інуліну в свіжому топінамбурі становить 12,8...14,5% [1, 2]. З пребіотичних речовин в бульбах топінамбура містяться також пектинові речовини, целюлоза. Крім того, цінність топінамбура характеризується високим вмістом біологічно активних речовин, таких як низькомолекулярні та високомолекулярні фенольні сполуки [1, 2]. Вітаміни представлені всім спектром, але в невеликій кількості. Так, масова частка аскорбінової кислоти становить від 10 до 20 мг в 100 г [1]. У топінамбурі виявлено широкий спектр мінеральних речовин (калій, кальцій, фосфор, залізо, марганець тощо) та інші сполуки.

**Лікувально-профілактична дія топінамбура.** Лікувально-профілактичні властивості топінамбура обумовлені тим, що він позитивно впливає на абсолютно всі органи і системи організму і особливо корисний для відділів шлунково-кишкового тракту. Завдяки вмісту інуліну в складі топінамбура, він грає важливу роль в регулюванні рівня цукру в крові, покращує утилізацію глюкози, сприяє синтезу глікогену, забезпечує більш високий рівень енергетичного обміну, стимулює процеси синтезу білка, холестерину, жовчних кислот і т. д. Крім того, завдяки вмісту пектинів і клітковини, топінамбур має сорбційні властивості, здатний знешкоджувати токсичні речовини в кишечнику та крові, чинить комплексну дію на функціональну активність печінки, значно розвантажує її і зберігає потенційні можливості в боротьбі організму з різними захворюваннями і шкідливими факторами зовнішнього середовища. Також у складі топінамбура є антиоксиданти (зокрема, різні низькомолекулярні фенольні сполуки та поліфеноли), які блокують вільні радикали, уповільнюють процеси старіння, запобігають розвитку пухлин і зміцнюють імунітет [4].

**Застосування топінамбура.** Топінамбур є перспективною сировиною при виготовленні багатьох груп харчових продуктів. На сьогоднішній день із топінамбура у світовій практиці виробляють харчовий пектин, інулін, пектинові екстракти і пектинові речовини, етиловий спирт, кристалічну фруктозу, дієтичні харчові волокна, барвники, кондитерські і хлібобулочні вироби, кисломолочні та м'ясні продукти, широкий асортимент алкогольних і безалкогольних напоїв, вітамінізованих продуктів підвищеної біологічної цінності. Крім того, високий вміст БАР топінамбура робить цю рослину привабливою для використання в якості вихідної сировини при розробці вискоєфективних біологічно активних добавок, які можуть бути застосовані у ха-

рчовій і кондитерській промисловості при виробництві профілактичних і пребіотичних продуктів та продуктів для дитячого харчування (сиropи, соки, пряники, цукерки, мармелад, ірис, хлібобулочні вироби, напої тощо). В фармацевтичній і медичній промисловості топінамбур використовують при виготовленні лікувальних та медичних препаратів, в першу чергу для хворих на цукровий діабет, ожирінням і атеросклерозом [14–16, 19].

**Труднощі при переробці топінамбура** пов'язані з тим, що при отриманні з нього харчових продуктів, в більшості випадків, вдаються до теплових методів обробки, які призводять до значних втрат (від 20 до 80%) біологічно активних речовин (вітамінів, макро- і мікроелементів, дубильних і фенольних сполук тощо). Також, недоліком теплових способів обробки топінамбура при виробництві з нього добавок і харчових продуктів є те, що під дією тепла відбувається коагуляція білків, частковий гідроліз складних органічних сполук, реакція меланоїдиноутворення, карамелізація і ряд інших. У свою чергу, вищеперелічені процеси обумовлюють потемніння тканин топінамбура, яке також посилюється внаслідок наявності активної оксидантної ферментативної системи. Таким чином, безперервно і необоротно змінюються основні властивості вихідної сировини і, як наслідок, погіршуються якісні характеристики готової продукції. Крім того, традиційні технології не дозволяють вилучити з сировини приховані (зв'язані) форми як БАР, так і важкорозчинних біополімерів (зокрема інуліну, пектину, целюлози, білка) і трансформувати їх в легкозасвоювану розчинну форму [14, 15, 18].

**Інновації в технології переробки топінамбура в харчові оздоровчі продукти в легкозасвоюваній формі.** Як інновацію при переробці топінамбура авторами монографії запропоновано використовувати комплексний вплив на сировину кріогенного «шокового» заморожування і дрібнодисперсного подрібнення. Застосування цих технологічних прийомів дозволяє трансформувати БАР і важкорозчинні біополімери, що містяться у вихідному (свіжому) топінамбурі в активну, вільну форму [6, 7, 90-94, 96, 98, 100, 102, 104, 139]. У свою чергу, це сприяє більш повному розкриттю біологічного потенціалу рослини і дає можливість отримати добавки, а також продукти з їх використанням, що перевершують за якістю світові аналоги, які не можуть бути отримані за допомогою традиційних методів обробки рослинної сировини [92-96, 100, 139]. Це пояснюється тим, що під час комплексного впливу кріогенного «шокового» заморожування та дрібнодисперсного подрібнення відбувається кріомеханохімія самих біополімерів (інуліну, пек-

тину, целюлози, білка) до їх окремих складових мономерів (відповідно фруктози, галактуранової кислоти, глюкози та амінокислот). Причому розмір молекул низькомолекулярних БАР, які отримують при застосуванні криогенної обробки, становить всього від 0,5 до 1,5 нм. Тобто отримані добавки відрізняються від вихідної сировини тим, що набувають наноструктурованої, нанорозмірної форми. Вони більш технологічні і можуть бути використані як структуроутворювачі, загусники, збагачувачі БАР в різні продукти для оздоровчого харчування (кисломолочні напої, порошкоподібні «Instant» соки, кисломолочні десерти, морозиво-сорбет тощо) [7, 99, 100].

### 1.3. Характеристика пребіотичних речовин топінамбура, біологічно активних фітокомпонентів та лікувально-профілактичні властивості

#### 1.3.1 Характеристика пребіотичних речовин топінамбура

Серед біологічно активних фітокомпонентів, які сприяють зміцненню імунітету населення, таких як вітаміни антиоксидантного ряду (С,

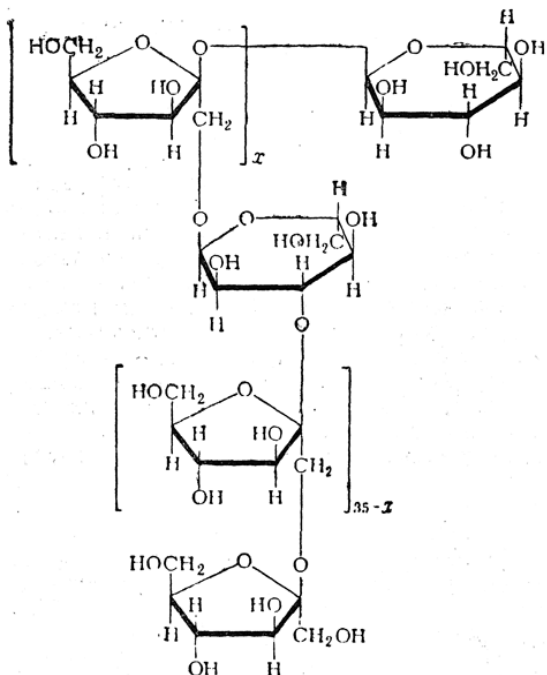


Рис. 1.2 - Інулін

Е, β-каротин), фенольні сполуки, мінеральні речовини та ін., особливе місце посідають речовини, що мають пребіотичні властивості [6]. До їх числа належать неперетравлювальні компоненти їжі, насамперед, полісахариди, інулін, пектинові речовини, харчові волокна, білки, хітозани, фруктоолігосахариди, лактулоза тощо. Донедавна їм відводили роль баластних вуглеводів, які сприяють перетравлюванню їжі та посилюють перистальтику кишечника. Сьогодні харчові волокна відносять до дуже важливих речовин, які забезпечують в організмі необхідну рівновагу кишкової мікрофлори, підтримуючи

кишечник в здоровому стані. Також вони стимулюють в організмі людини розвиток, метаболічну та біологічну активність однієї або декількох груп власних бактерій, які складають кишкову мікрофлору людини, позитивно впливають на склад мікробіоценозу [28, 29].

Перспективною сировиною при отриманні заморожених дрібно-дисперсних добавок з пребіотичними властивостями та БАР і їх застосуванні у виготовленні продуктів для оздоровчого харчування є традиційна для України інуліновмісна сировина – топінамбур, оскільки він являється джерелом натуральних пребіотиків: інуліну, пектинових речовин та целюлози. В даному розділі наведено особливості будови молекул даних харчових волокон.

*Інулін* – органічна речовина, що відноситься до групи поліфруктанів з емпіричною формулою ( $C_6H_{10}O_5$ ) і являє собою поліфруктозний ланцюг, в якому залишки D-фруктози (до 96%) зв'язані  $\beta$ -2,1-зв'язком, причому кожний ланцюг з нередукованого кінця закінчується молекулою D-глюкози (до 6%), з'єднаної з фруктозою  $\beta$ -1,2-зв'язком (рис. 1.2) [5]. Інулін може бути отриманий у формі аморфного порошку і у формі кристалів, легко розчинний в гарячій воді і важко розчинний в холодній, має солодкий смак. При гідролізі під дією кислот і ферменту інулази утворює D-фруктозу і невелику кількість глюкози. Інулін, як і проміжні продукти його ферментативного розщеплення, не відновлюється. Молекула інуліну – ланцюжок з 30-35 залишків фруктози в фуранозній формі. Подібно крохмалю, інулін служить запасним вуглеводом, зустрічається більш, ніж в 36 тисячах видах рослин. У цьому списку земляна груша (топінамбур), артишоки, банани, родзинки і злаки, а також рослини з сімейства складноцвітних (цикорій, кульбаба, коксагиз, ромашка, георгін) [5].

В бульбах і коренях жоржини, нарцису, гіацинту, кульбаби, цикорію, земляної груші (топінамбура) та інших вміст інуліну досягає 10-12% (до 60% від вмісту сухих речовин). У рослинах разом з інуліном майже завжди зустрічаються родинні вуглеводи – псевдоінулін, інуленін, левулін, геліантенін, сіністрин, іризин та ін., що дають, як і інулін, при гідролізі D-фруктозу.

В даний час відомі три формули інуліну:  $\alpha$ -інулін (білий аморфний порошок),  $\beta$ -інулін (безбарвні кристали) і  $\gamma$ -інулін. Вони відрізняються молекулярною масою, ступенем полімеризації, температурою розчинення, способом отримання і т. д.;  $\alpha$ -форма утворюється при виморожуванні інуліну з розчину;  $\beta$ -форма – при осадженні спиртом;  $\gamma$ -форма – після застосування цілого ряду процесів, пов'язаних з дією різних температур. Всі форми інуліну мають властивості взаємоперетворювання. Молекулярна маса інуліну знаходиться в межах 1000-4500 у.о. (при довжині ланцюга 35-42 гекс. од.) [5].

Інулін – природний пребіотик, що відноситься до неперетравлювальних компонентів їжі та має численні цілющі властивості, вивченням

яких займаються вчені в усьому світі. По-перше, він сприяє розмноженню та життєдіяльності корисної мікрофлори кишечника (в 10 разів), а, отже, позитивно впливає на процес травлення [31, 39, 40].

Цей поліфруктан не засвоюється у верхніх відділах шлунково-кишкового тракту, проте чудово ферментується мікрофлорою кишечника, стимулюючи активне зростання корисних мікроорганізмів та забезпечуючи нормальну життєдіяльність травної системи і організму в цілому [10, 12, 25].

Інулін проходить шлях від ротової порожнини до тонкого кишечника практично мало зміненим, а в товстому кишечнику під дією кишкових бактерій повністю розпадається на летючі жирні кислоти (оцтову, пропіонову, масляну, молочну), бактеріальну біомасу та гази [39, 40]. При цьому, спочатку інулін частково розщеплюється соляною кислотою та ферментами в кислому середовищі шлункового соку, а потім під дією мікробних ферментів в товстому кишечнику перетворюється на короткі фруктозні ланцюжки та окремі молекули фруктози. В свою чергу, фруктозний цукор є поживним середовищем для розмноження біфідобактерій та лактобацил, що в нормі повинні переважати над іншими видами бактерій [12, 39, 40]. Це перешкоджає розвитку патогенної мікрофлори та сприяє відновленню порушеної діяльності шлунково-кишкового тракту. Решта інуліна, що залишилась нерозщепленою, швидко виводиться з організму, зв'язавши значну кількість непотрібних організму токсичних речовин, таких як важкі метали, кристали холестерину, радіонукліди, жирні кислоти, різні токсичні хімічні речовини, а також харчову глюкозу, що благотворно впливає на зниження рівня цукру в крові після прийому їжі [12–13, 18, 22].

Тобто інулін, до того ж, виконує функцію на рідкість активного сорбенту шкідливих речовин, які потрапляють всередину з їжею або утворюються в кишечнику в процесі травлення. Також, він сприяє засвоєнню цукру у відсутності інсуліну, що особливо важливо при діабеті. Дана речовина при надходженні в організм людини, створює потужний заслін до різних онкологічних захворювань, перешкоджає розвитку і росту доброякісних та злоякісних пухлинних тканин, помітно стимулює моторику і перестальтику шлунково-кишкового тракту. Разом з короткими фруктозними ланцюжками (фрагментами полісахариду) інулін має виражену жовчогінну дію, яка посилюється у зв'язку з полегшенням відтоку жовчі з печінки і жовчного міхура в дванадцятипалу кишку, обумовленим поліпшенням спорожнення кишечника [29, 31, 32, 44, 45].

*Пектинові речовини* – високомолекулярні сполуки вуглеводної природи, що містяться у великій кількості в ягодах, фруктах, бульбах і стеблах рослин, в тому числі в топінамбурі. У рослинах пектинові речовини присутні у неактивній формі нерозчинного протопектину, що представляє собою сполуки метоксильованої полігалактуронової кислоти з галактаном і арабаном клітинної стінки [41–42, 45, 125]. Нижче показано будову метоксильованої полігалактуронової кислоти (рис. 1.3) і арабану (рис. 1.4) [6, 41].

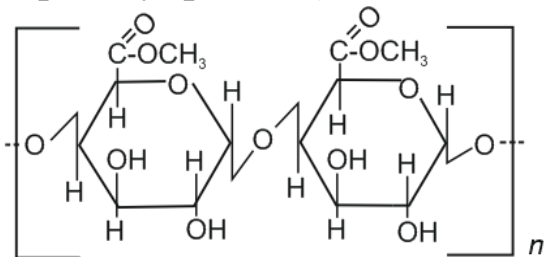


Рис. 1.3 - Метоксильована полігалактуронова кислота

Переважним структурним елементом пектинових речовин є залишки галактуронової кислоти. Їх нерозгалужені полімерні блоки служать фундаментом макромолекули пектину. Наявність в полімері такої основи є критерієм віднесення його до категорії пектинових речовин. Результати електронної мікроскопії свідчать, що пектин є мікрокристалічним, проте структура пектинових речовин до сих пір не вважається повністю встановленою. Аналіз джерел інформації показує, що погляди на склад і структуру цих біополімерів неодноразово змінювалися. Проте припущення, що структурною одиницею пектинових речовин є D-галактуронова кислота у вільній або етерифікованій формі, залишилося незмінним [6, 41, 42, 44,

46, 124, 125].

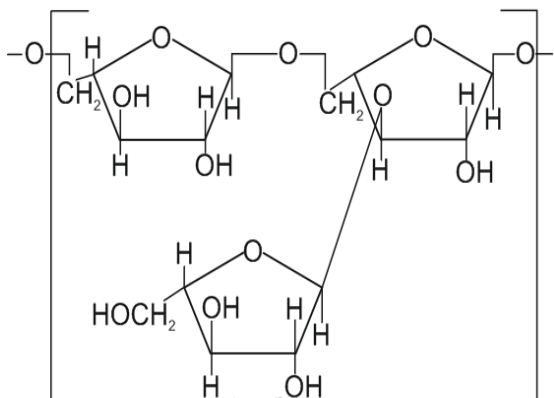


Рис. 1.4 - Арабан

Пектинові речовини зустрічаються у формі полігалактуронових кислот, пектатів (солей галактуронової кислоти, Na-пектатів, Ca-пектатів, водорозчинних і нерозчинних у воді солей), у формі пектину (в якому частково або повністю метоксильована галактуронова кислота), пектинатів (солей повністю етери-фікованого пектину),

протопектину (природного водонерозчинного, пов'язаного з багатьма металами і іншими сполуками поперечно-зшитого пектину). Встановлений перелік визначає властивості пектинових речовин, що використовуються у виробництві харчових продуктів та при їх безпосередньому споживанні, це – комплексоутворення, емульгування і піноутворення [6, 41, 63].



В даний час в технології виготовлення продуктів харчування використовується різноманітна пектиновмісна рослинна сировина, в тому числі ягоди і плоди, які майже не зв'язують в комплекси іони важких металів і радіонуклідів [6, 88, 124]. Це відбувається тому, що пектинові речовини, що відповідають за даний ефект, знаходяться в сировині (наприклад, в дикорослих ягодах) і, відповідно, в продуктах харчування із них в неактивній формі (рис. 1.5) [6].

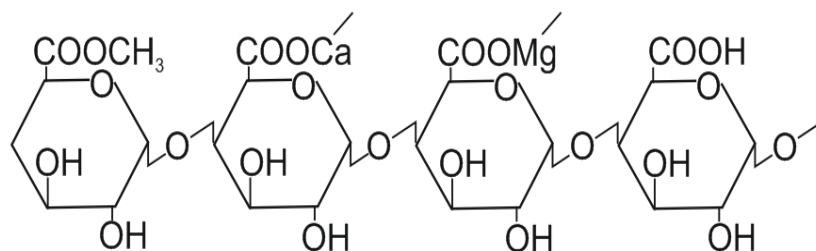


Рис. 1.5 - Пектинові речовини в неактивній формі

Більшість карбоксильних груп полісахаридного ланцюга вже зв'язана або з іонами металів (найчастіше з Mg і Ca), або з залишками метилового і етилового спиртів. Крім того, доступ до цих груп ускладнений іншими полімерами, наприклад, арабанами, галактанами, і мономерними молекулами вуглеводів рослинної клітини [6, 125]. Тому, значну зацікавленість викликає розробка технології активації неактивних форм пектину, який міститься безпосередньо в рослинній сировині та в продуктах його переробки та отримання харчових продуктів в активній формі, зокрема паст і порошків, з підвищеною сорбційною здатністю по відношенню до важких металів і радіоактивних речовин.

Технологія активації пектину ягід при отриманні паст дозволить різко знизити собівартість пектиновмісних лікувально-профілактичних і захисних продуктів харчування, оскільки зникає необхідність введення до їх складу дорогих комерційних препаратів пектину, а також використовувати нативні властивості всього вуглеводного комплексу вихідної сировини [6, 43].

В МДТА (Московська державна технологічна академія) В. Голубєвим та А. Ільїною розроблена технологія активації пектину при отриманні овочево-фруктових паст з використанням лужних розчинів (рис. 1.6) [6, 47, 69].

Зокрема, під дією лужного розчину, наприклад, харчової соди, арабінани і галактани, які створюють стеричні труднощі розчиняються, і підхід до активних функціональних груп пектинового комплексу полегшується. Самі ж пектинові речовини при контакті з лугами

піддаються деетерифікації, яка полягає, головним чином, в відщепленні метоксильних груп.

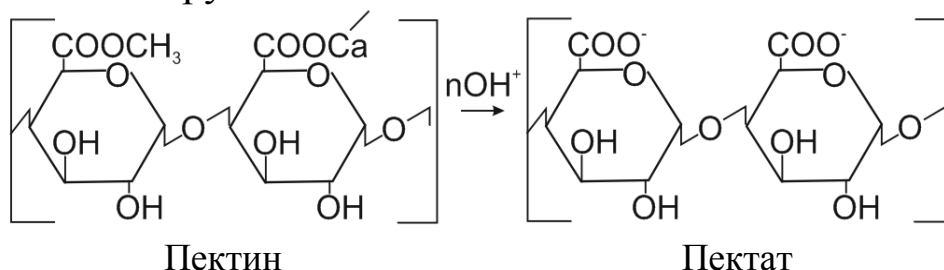


Рис. 1.6 - Процес деетерифікації пектинових речовин

Під дією кислот, найкращий ефект спостерігається з лимонною кислотою, молекули пектату переходять в пектову кислоту (рис. 1.7) [6, 41].

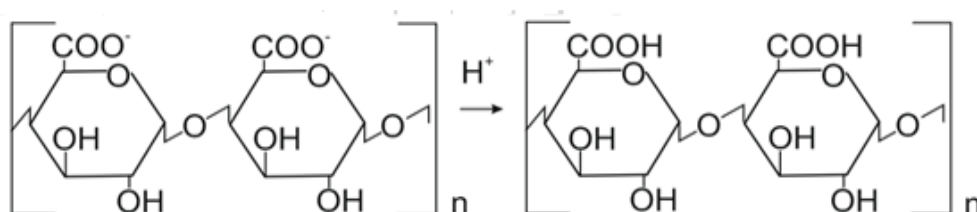


Рис. 1.7 - Процес переходу пектату в пектову кислоту під дією кислот

Навіть, якщо пектова кислота знаходиться в гетерофазній системі, вона активно взаємодіє з іонами важких металів і радіонуклідами, утворюючи з ними нерозчинні полімерні комплекси (рис 1.8) [6].

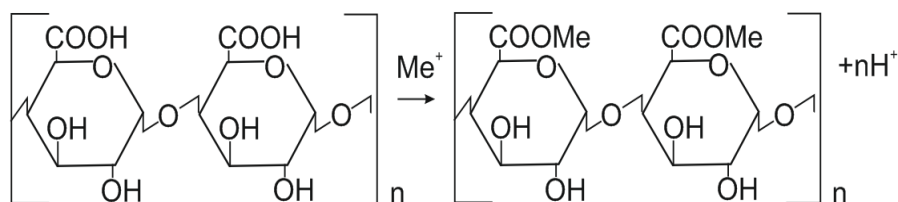


Рис 1.8 - Утворення нерозчинних полімерних комплексів пектової кислоти з іонами важких металів

Хімічна структура пектинів рослинної сировини інтенсивно вивчається понад 50 років. Встановлено, що пектинові речовини є зв'язуючими та цементуючими агентами в клітинах рослинних тканин всіх вищих рослин, в тому числі плодів і овочів [6, 41, 42]. Більшість властивостей пектину залежить від балансу функціональних груп: ефірних, неіонізованих і іонізованих карбоксильних. Реакційна

здатність пектинових речовин визначається наявністю в них карбоксильних і гідроксильних угруповань [6]. Присутність вільних карбоксильних груп галактуранової кислоти обумовлює здатність пектину утворювати солі (пектинати), які не всмоктуються і виводяться з організму. Одним з основних ефектів терапевтичного впливу є здатність утворювати стійкі з'єднання з двох- і тривалентними важкими і рідкоземельними металами [6, 41]. Полімерний ланцюг полігалактуранової кислоти, наявність вільних карбоксильних груп і спиртових гідроксидів призводить до утворення міцних нерозчинних хелатних комплексів з полівалентними металами і виведення їх з організму. Пектинова кислота зв'язує катіони марганцю, кобальту, свинцю, нікелю, кадмію, цинку, стронцію, цезію. Встановлено, що пектин адсорбує оцтовокислий свинець сильніше активованого вугілля. Встановлено, що пектин має сорбційні властивості, сприяє виведенню радіонуклідів з організму людини [41].

Пектини рекомендовані клініцистами і дієтологами для включення в раціон харчування людям, які знаходяться в середовищі, забрудненому радіонуклідами і мають контакт з важкими металами. Для організму людини особливо шкідливі довгоживучі ізотопи цезію ( $\text{Cs}^{137}$ ), стронцію ( $\text{Sr}^{90}$ ), ітрія ( $\gamma^{91}$ ) і ін. [11, 73, 74].

*Комплексоутворюючі властивості* пектинових речовин залежать від вмісту вільних гідроксильних груп, тобто ступеня етерифікації карбоксильних груп металом. Ступінь етерифікації визначає лінійну щільність заряду макромолекули пектину і, відповідно, силу і спосіб зв'язування катіонів (наприклад, Mn, Cu, Zn, Co, Pb, Ni, Ca, Mg і т.д.). Відомо також, що комплексоутворююча здатність не залежить від молекулярної маси пектину і збільшується з підвищенням рН-середовища. Оптимальна профілактична доза пектину становить не більше 2...4 г на добу, а для осіб, що контактують з важкими металами – не менше 15...16 г. При цьому буряковий пектин належить до числа пектинів з найбільшою комплексоутворюючою здатністю. Відомо також, що пектини з ягід (таких, як червона і чорна смородина, малина і т.д.) мають високі комплексоутворюючі властивості [41, 42, 45].

Крім того, частина пектинів в кишечнику трансформується до своїх мономерів – галактуранової кислоти, яка зрушує рН у бік більш кислого середовища і, таким чином, має бактерицидну дію по відношенню до патогенних бактерій. У шлунку пектини обволікають стінки, що запобігає їх механічному пошкодженню і несприятливому впливу деяких хімічних сполук, також знижує ризик виникнення запальних процесів слизо-

вої оболонки і виразки шлунка. Встановлено, що пектин є ефективним при профілактиці атеросклерозу. Він утворює нерозчинний комплекс з холестерином їжі, що потрапляє у ШКТ.

Протопектин переходить в розчинний пектин лише після обробки розведеними кислотами або під дією особливого ферменту протопектинази. З водного розчину розчинний пектин осаджується спиртом або 50%-м ацетоном. Характерною і важливою властивістю пектину є його здатність утворювати студні в присутності кислоти і цукру. Ця властивість широко використовується в кондитерській промисловості при виробництві желе, джему, мармеладу, зефіру, пастили, мусів і фруктових карамельних начинок [6, 41, 48]. Утворення пектинового студню відбувається в присутності 65...70% цукру (сахарози або гексози), така концентрація приблизно відповідає насиченому розчину сахарози. В студні, що утворюється, міститься від 0,2 до 1,5% пектину. Найкраще утворення пектинових студнів відбувається при рН 3,1...3,5 [6]. Пектини різного походження відрізняються за здатністю до желювання, за вмістом золи і метоксильних груп СН<sub>3</sub>O- [41, 42]. При дії на розчинний пектин розбавлених лугів або ферменту пектази метоксильні групи легко відщеплюються – утворюється метиловий спирт і вільна пектинова кислота, яка представляє собою полігалактуронову кислоту. Пектинова кислота легко дає солі – пектати. У формі пектатів кальцію вона легко осідає з розчину; цим користуються для кількісного визначення пектинових речовин. Пектинова кислота в присутності цукру не здатна утворювати студні подібно розчинному пектину. Тому при промисловому отриманні пектину намагаються за можливістю запобігти його лужному або ферментативному гідролізу, що викликає зниження желюючої здатності пектину [6, 41, 42].

Пектинові речовини відіграють важливу роль при дозріванні, зберіганні і промисловій переробці різних плодів і овочів. Під час розвитку плодів протопектин відкладається в клітинних стінках і може накопичуватися в плодах в значних кількостях (наприклад, в грушах, яблуках і плодах цитрусових культур). Дозрівання плодів характеризується перетворенням протопектину в розчинний пектин [6, 45].

*Полісахарид клітковина (целюлоза)* становить головну масу клітинних стінок рослин. Клітковина нерозчинна у воді, вона лише набухає в ній. Клітковина становить понад 50% деревини. У волокнах бавовни вона становить більше 90%. При кип'ятінні з міцною сірчаною кислотою клітковина повністю перетворюється в глюкозу. При більш слабкому гідролізі з клітковини виходить целобіоза. Клітковина склада-

ється із залишків глюкози та її димарів – целобіози [6, 25, 26, 27].

У молекулі клітковини залишки целобіози зв'язані глікозидними зв'язками у вигляді довгого ланцюжка (рис. 1.9) [6]. Молекулярна маса

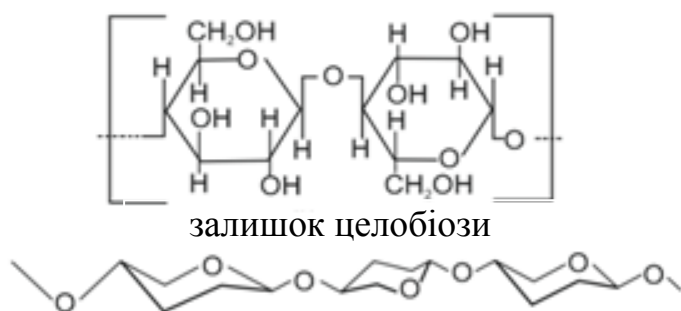


Рис. 1.9 - Конформація молекули целюлози

клітковини точно не встановлена. Вважають, що клітковина не є індивідуальною речовиною, а являє собою комплекси з іншими речовинами. Молекулярна маса

клітковини, отриманої з різних джерел, досить сильно коливається. В середньому молекула клітковини містить від 1400 по 10000 глюкозних залишків. За допомогою рентгеноструктурного аналізу встановлено, що молекула клітковини має ниткоподібну форму. Ці ниткоподібні молекули з'єднуються в пучки – міцели. Кожна міцела складається приблизно з 40-60 молекул клітковини [6]. З'єднання окремих молекул клітковини в міцели відбувається завдяки водневим зв'язкам, які здійснюються як за рахунок водневих атомів гідроксильних груп клітковини, так і за рахунок адсорбованих клітковиною молекул води. На рис. 1.10 показана схема водневих зв'язків між паралельними молекулами клітковини [6].

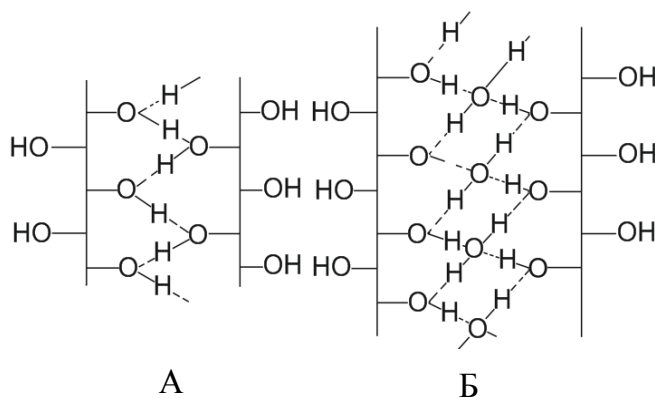


Рис. 1.10 - Схема водневих зв'язків між паралельними молекулами сухої клітковини (А) і зволоженою клітковиною (Б)

Розташування міцел в луб'яних волокнах і клітинних стінках вивчено за допомогою електронного мікроскопу. Встановлено, що міцели утворюють певним чином орієнтовану сітчасту структуру. У клітинних стінках рослин міцели клітковини зв'язані водневими зв'язками з різними

гетерополісахаридами. Наприклад, у білого клена їм є з'єднаний між собою глікозидними зв'язками ксилоглюкан, що складається із залишків глюкози, ксилози, галактози і фруктози; арабіногалактан, побудований із залишків арабінози та галактози; рамногалактуронан, утворений залишками галактуронової кислоти і рамнози.

Крім того, є дані про те, що в побудові клітинної стінки рослин, особливо на ранніх етапах її утворення, бере участь також особливий, багатий на оксипролін глікопротеїд екстензін. При одеревенінні клітинних стінок в них накопичується також фенольний пігмент лігнін [6].

Целюлоза не перетравлюється в шлунково-кишковому тракті людини. В кишечнику клітковина формує маси з помірними сорбційними властивостями, підтримуючи моторику та перистальтику перетравлювання. Вона перетравлюється лише жуйними тваринами, в шлунку яких є особливі бактерії, що гідролізують клітковину за допомогою ферменту – целюлази [6].

Таким чином, високомолекулярні полісахариди плодів та овочів, зокрема інουλін, пектинові речовини, целюлоза мають пребіотичні та детоксикуючі властивості і є основним джерелом натуральних харчових волокон – пребіотиків для організму людини. Вони можуть бути використані як сировина при створенні натуральних заморожених та порошкоподібних дрібнодисперсних добавок з пребіотичними властивостями [24, 25, 28].

### **1.3.2. Характеристика біологічно активних фітокомпонентів топінамбура, їх фізіологічні властивості та лікувально-профілактична дія**

Відомо, що до біологічно активних фітокомпонентів рослинної сировини відносяться неорганічні або органічні сполуки, загальною особливістю яких є висока активність у невеликих кількостях. Вони виконують конкретні специфічні фізіологічні функції (енергетичну, пластичну, каталітичну, регуляторну, детоксикуючу, захисну, антиокиснювальну, транспортну тощо) в організмі людини. В підрозділі наведені основні групи біологічно активних речовин – фітокомпонентів, що входять до складу топінамбура та описані притаманні їм функціональні властивості.

Так, бульби топінамбура багаті на вітаміни групи В (В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>3</sub>, В<sub>6</sub>, В<sub>9</sub>) та особливо на вітамін С (або аскорбінову кислоту) [47, 49]. Споживання в їжу всього 2 бульб цього овочу здатне поповнити організм лю-

дини на 50% добової потреби у даному вітаміні, який виконує такі важливі функції в організмі, як зміцнення імунної системи, захист від вільних радикалів, сприяння всмоктуванню заліза в клітини шляхом трансформування його в легкозасвоювану форму, зниження рівня холестерину в крові та ДНК у клітинному ядрі та ін. Необхідний вітамін С й для виробництва білка колагена, що відіграє важливу роль в структурі сполучної тканини м'язів, шкіри, зв'язок, сухожиль та кісток, а також для утворення у нервовій тканині певних сигнальних молекул – зокрема нейромедіаторів, які відповідають за передачу думок, почуттів та команд в нервовій системі [1–3].

Вітаміни групи В беруть участь в усіх типах обмінних процесів, регулюють функції травної, нервової, м'язової та серцево-судинної систем, активізують синтез гемоглобіну і виробку статевих гормонів, покращують стан шкіряного покриву, волосся та нігтів. Присутній в топінамбурі вітамін В<sub>1</sub> (або тіамін) – необхідний для нормального перебігу процесів росту і розвитку, допомагає підтримувати належну роботу серця, бере участь у вуглеводному, енергетичному, жировому, білковому та водно-сольовому обміні, чинить регуляторний вплив на діяльність нервової системи. В топінамбурі міститься цей вітамін у кількості 0,2...0,3 мг при середньодобовій потребі в вітаміні В<sub>1</sub> дорослої людини 1,5 мг [80].

Слід відзначити, що в топінамбурі містяться також низько- та високомолекулярні фенольні сполуки. Але літературних даних щодо їх кількості, крім робіт авторів монографії, не виявлено. Проте, дані БАР здатні чинити в організмі людини капіляррозміцнюючий, жовчогінний, діуретичний, протизапальний, тонізуючий, бактерицидний та протиокиснювальний ефект. Тому, з метою забезпечення потреби організму у фенольних сполуках, корисно щодня споживати топінамбур [47, 48, 49, 51].

Органічних кислот у бульбах топінамбура міститься невелика кількість (всього 0,1...0,2%). Втім, в топінамбурі присутня дуже потужна окиснювальна ферментативна система, яка представлена двома основними ферментами, такими як пероксидаза та поліфенолоксидаза, які в присутності кисню повітря призводять до швидкого потемніння очищеного топінамбура [106]. У зв'язку з цим, проблематичним вбачається отримання паст з топінамбура. Науковці кафедри харчових технологій продуктів із плодів, овочів і молока та інновацій в оздоровчому харчуванні ХДУХТ при розробці криогенної технології дрібнодисперсних заморожених та порошкоподібних добавок із топінамбура цю проблему

вирішили шляхом використання спеціального кріогенного обладнання, яке дозволяє інактивувати активні окиснювальні ферменти з використанням кріогенної обробки сировини [6, 7, 79].

Білковий склад земляної груші характеризується високим вмістом незамінних амінокислот, які не синтезуються в організмі людини. Серед них лідируючу позицію займає амінокислота аргінін. Вона відіграє важливу роль у синтезі гормону росту, сприяє нарощуванню м'язової маси, поліпшує імунітет тощо [48-51, 54, 60].

Бульби топінамбура відрізняються збалансованим макро- та мікроелементним складом. За вмістом таких мінеральних речовин, як калій, фосфор, кремній, залізо та цинк, вони перевищують моркву, буряк та картоплю [50, 60, 61]. Так, масова частка калію в бульбах топінамбура становить 1,3...1,5%, фосфору та цинку – 0,5%, залізо – до 12...15 мг у 100 г.

#### **1.4. Традиційні технології виробництва пребіотиків та харчових продуктів із бульб топінамбура**

Проведений огляд наукової періодичної літератури за останні 10 років стосовно технологій виробництва пребіотиків та харчових продуктів із топінамбура показав, що більшість робіт як закордонних, так і вітчизняних вчених, присвячена тепловим методам його обробки [14, 15, 55, 59, 60–68, 70, 71]. Серед них, наприклад, паротермічна обробка, обробка за допомогою НВЧ-випромінювання, бланшування, варіння, смаження, підігрівання, сушіння та ін. [87]. Втім, зазначені методи обробки бульб топінамбура призводять до значних втрат біологічно активних фітокомпонентів (вітамінів, мінеральних речовин, дубильних та фенольних сполук тощо), які становлять від 20 до 80% [94]. Також, недоліком теплових способів обробки топінамбура при виробництві з нього пребіотиків, домішок та харчових продуктів є те, що під дією тепла відбувається коагуляція білків, руйнування вітамінів та інших фітокомпонентів, реакція меланоїдиноутворення, карамелізації, дія окиснювальних ферментів, зокрема поліфенолоксидази та пероксидази, що обумовлюють потемніння тканин топінамбура. Таким чином, безперервно і незворотно змінюються основні властивості вихідної сировини і, як наслідок, погіршуються якісні характеристики готової продукції. Крім того, традиційні технології не дозволяють зберегти БАР та вилучити із сировини їх приховані, зв'язані форми разом з важкорозчинними біополімерами (зокрема інуліном, пектином, целю-



лозою, білком) і трансформувати їх у легкозасвоювану розчинну форму [94]. Установлено, що спостерігається дефіцит добавок із бульб топінамбура у формі пюре, порошоків та заморожених паст високої якості. Тому актуальним є пошук таких технологічних прийомів, що дають змогу максимально використати закладений в топінамбурі біологічний потенціал. В даний час в міжнародній практиці досить гостро стоїть проблема розробки високих технологій, зокрема, нанотехнологій, які можуть зробити процес обробки рослинної сировини, в тому числі топінамбура, більш ефективним з максимальним збереженням цінних БАР та поживних речовин, збільшити вилучення цільових компонентів, запровадити ресурсозберігаючі процеси, безвідходні технології та менш енергоємні процеси [126–128].

Труднощі при переробці інуліновмісної сировини (зокрема топінамбура) пов'язані з тим, що значна частина біополімерів в свіжій сировині знаходиться в неактивній формі, тобто вони зв'язані в складні важкорозчинні наноконплекси. Крім того, топінамбур має дуже активну систему окиснювальних ферментів (поліфенолоксидази та пероксидази), які швидко призводять до потемніння [47, 55, 59, 60, 139]. З метою трансформації біополімерів у активну, вільну форму та з метою інактивації окиснювальних ферментів в роботі як інновацію запропоновано використовувати комплексну дію на сировину кріогенного «шокового» заморожування до  $-35^{\circ}\text{C}$  всередині продукту та дрібнодисперсного подрібнення. Застосування таких технологічних прийомів дозволило також в повній мірі розкрити біологічний потенціал, що є в бульбах топінамбура, та отримати добавки з пребіотичними властивостями і високим вмістом БАР, на їх основі виготовлені оздоровчі продукти, які за якістю перевершують відомі світові аналоги та які неможливо отримати, використовуючи традиційні методи обробки рослинної сировини. Це пояснюється тим, що під час комплексної дії кріогенного «шокового» заморожування та дрібнодисперсного подрібнення відбувається кріомеханодеструкція самих біополімерів (інуліну, пектину, целюлози, білку) до їх окремих складових мономерів (відповідно фруктози, галактуранової кислоти, глюкози та амінокислот). Причому розмір молекул низькомолекулярних біологічно активних фітокомпонентів, які отримані під час застосування кріогенної обробки, становить всього 0,5...1,5 нм. Тобто отримані добавки відрізняються від вихідної сировини, оскільки набувають наноструктуровану, нанорозмірну форму. Вони більш технологічні та можуть бути використані як джерело пребіотичних речовин, збагачувачі біологічно актив-

ними фітокомпонентами, а також натуральні структуроутворювачі при виробництві продуктів для оздоровчого харчування без застосування штучних синтетичних добавок (кисломолочні напої, сиркові десерти, сокові нанопої, десерти, морозиво, хлібобулочні та кондитерські вироби тощо) [94, 96, 104].

### **1.5. Заморожування та низькотемпературне подрібнення при переробці рослинної сировини**

Сьогодні «шокове» заморожування є найкращим способом консервування та зберігання рослинної сировини, яка швидко псується. Заморожені продукти користуються популярністю в усьому світі та виготовляються у широкому асортименті [80–83, 88]. Споживання їх в Німеччині, Франції, Великобританії, США та інших країнах становить від 40 до 100 кг на душу населення на рік, в СНД – 0,5 кг, в Україні – 0,3 кг.

Спосіб консервування заморожуванням заснований на тому, що при зниженні температури нижче криоскопічної відбувається уповільнення життєдіяльності мікроорганізмів і активності тканинних окиснювальних ферментів, що забезпечує збереження якості заморожуваних продуктів впродовж тривалого часу (6 місяців) та зменшує їх кількісні та якісні втрати [74–78].

Всі способи заморожування за швидкістю поділяються на повільні та швидкі [74–76, 79, 82].

Повільний спосіб заморожування здійснюють за температури в морозильній камері  $-18...-40^{\circ}\text{C}$  за рахунок природної конвекції. Тривалість процесу може становити від трьох годин до трьох діб залежно від складу продукта, його кількості, від геометрії камери та режимів заморожування [79, 80, 96].

До швидких способів заморожування відносять такі, при яких зона максимальної кристалізації продуктів проходить максимально швидко, а температура після термічної стабілізації залишається незмінною ( $-18^{\circ}\text{C}$ ) в усіх частинах продукту. У міжнародній практиці для швидкого заморожування харчових продуктів використовують широкий набір методів та відповідних їм технічних засобів, які умовно можна розділити на три групи [74–76, 78, 81]. Якщо з метою заморожування застосовують рідкі холодоносії (розчини хлоридів натрію та кальцію, пропілен-гліколю тощо), розрізняють занурювальний метод заморожування (шляхом занурення у киплячу рідину), а якщо заморожують потоком холодного повітря – повітряний метод. Методи

заморожування другої групи передбачають прямий контакт продукту з холодоагентом (рідким, твердим або газоподібним) через металеву поверхню [80]. Третя група методів заморожування представлена криогенними методами, що використовують рідкі, тверді та газоподібні холодоагенти.

Також, в останній час набули поширення «комбіновані» методи заморожування, які поєднують в собі застосування різних комбінацій повітряного та криогенного методів. Щодо харчової промисловості, в світовій практиці серед перелічених методів швидкого заморожування, найчастіше використовують повітряне («шокове») та криогенне заморожування [102–104].

Метод «шокового» заморожування (або метод IQF – individual quick freezing) заснований на збільшенні швидкості заморожування шляхом збільшення швидкості руху потоку холодного повітря всередині камери та шляхом зниження температури середовища, в яке поміщають продукт до  $-30...-40$  °C [74, 75, 78]. При цьому заморожування продукту здійснюється в 3 етапи. На першому етапі відбувається охолодження продукту до температури  $0$  °C під впливом потоку холодного повітря. На другому етапі продукт долає криоскопічну точку від  $0$  до  $-5$  °C та переходить із рідкого стану в твердий. На третьому – здійснюється дозаморожування продукту та його кінцевий перехід у тверду фазу, що супроводжується зниженням температури від  $-5$  °C до температури зберігання продукту  $-18$  °C [76, 79].

Криогенне заморожування засноване на контакті продукту, що заморожують, з рідким, газоподібним або твердим криоагентом [72, 91]. Як криоагенти можуть бути використані рідкий або газоподібний азот, діоксид вуглецю (в трьох станах), рідкий хладон. У світовій практиці найбільше розповсюдження серед криоагентів одержав рідкий азот, для якого властиві нешкідливість, інертність, низька температура та здатність до поглинання більшої кількості теплоти за одиницю часу [88, 103].

Традиційно для виготовлення швидкозаморожених продуктів, напівфабрикатів та готових страв використовують конвейерні та тунельні морозильні камери з природнім та інтенсивним рухом повітря, флюїдизаційні, колискові, плиточні, спіральні, занурювальні швидкоморозильні апарати, фризери, а також криогенні морозильні апарати та холодильне обладнання з азотним заморожуванням [129, 130]. Останні отримали широке розповсюдження через те, що вони забезпечують зниження витрат рідкого азоту на заморожування продукту, високу

швидкість заморожування та сприяють збереженню якості продуктів на високому рівні без значних втрат їх маси. Крім того, вони прості за конструкцією, компактні, передбачають нескладний монтаж обладнання, невеликі капітальні витрати та енергоспоживання [129].

В нашій країні на сьогоднішній день, в основному, для швидкого заморожування застосовують «шоковий» метод заморожування [6, 7]. Не дивлячись на ряд переваг (мінімальні втрати за рахунок усушки сировини, висока швидкість процесу заморожування, велика продуктивність, високі санітарно-гігієнічні показники технології за рахунок використання природніх холодоагентів) застосування криогенних технологій під час переробки, зберігання та консервування рослинної сировини в харчовій промисловості України, на відміну від інших країн світу, до цих пір не знайшло належного розвитку та знаходиться лише на стадії експериментальних розробок.

Ще одним перспективним способом переробки рослинної сировини є низькотемпературне подрібнення [105, 109, 110]. В загальноприйнятому значенні подрібнення – це процес зменшення початкових розмірів часток оброблюваного продукту до необхідних розмірів під впливом механічної дії з метою кращого його технологічного використання. Залежно від сировини, що використовується, та крупності кінцевого продукту, традиційно в харчовій промисловості розрізняють подрібнення розтиранням, розчавлюванням, помелом, дробленням або різанням із застосуванням обладнання різної конструкції (вальцеві, дискові, шарові млини; молоткові, ножеві дробарки; різальні машини та ін.) [129]. До недоліків цих способів подрібнення відносять неоднорідність продукту за дисперсністю та нагрівання сировини внаслідок утворення тепла під дією механічних сил [129]. Температури в межах стикання продукту з подрібнюючим механізмом можуть становити понад 100° С, а локальні температури – понад 300° С. В результаті впливу високих температур та під дією кисню, відбуваються значні втрати БАР продукту (вітамінів, нестійких до дії тепла), процес карамелізації, що призводить до погіршення якісних характеристик продукту та зниження харчової цінності. Ці небажані процеси особливо притаманні вуглеводовмісній сировині під час тонкого та надтонкого подрібнення. У зв'язку з цим, все більшої популярності в світовій практиці набувають низькотемпературні та криогенні методи подрібнення сировини при отриманні біологічно активних добавок та лікарських препаратів [99–102, 105], застосування яких, на відміну від традиційних методів, дозволяє в більшій мірі попередити процеси

окиснення, дезагрегації та карамелізації сировини, знизити деструкцію БАР та максимально зберегти цінні компоненти сировини, її натуральний смак та аромат.

В Україні над розробкою та удосконаленням низькотемпературних технологій виробництва різних харчових продуктів працюють такі вчені, як Р.Ю. Павлюк, В.В. Погарська, О.С. Бессараб, Г.А. Сімахіна, Н.Я. Орлова, С.О. Белінська, А.М. Одарченко, Д.М. Одарченко та ін. [33, 104]. В ХДУХТ в межах наукової школи професора Р.Ю. Павлюк та професора Погарської В.В. вже понад 30 років здійснюються фундаментальні та прикладні наукові дослідження з використанням прогресивних методів переробки рослинної сировини (кріогенного «шокового» заморожування, кріогенного подрібнення, сублімаційного сушіння) та йдуть пошукові роботи альтернативних кріогенному методів обробки. Розроблені нанотехнології біологічно активних добавок із різних видів рослинної сировини, плодів, овочів, продуктів бджільництва, грибів, прянощів, нетрадиційної лікарської сировини у формі дрібнодисперсних порошків, кріопюре (кріопаст), екстрактів, концентратів, які мають принципово нові споживчі властивості. В основі заснованих технологій лежить комплексне застосування кріогенного «шокового» заморожування та кріогенного подрібнення сировини, які супроводжуються процесами кріомеханодеструкції, кріомеханохімії та механоактивації. Дія останніх, в свою чергу, дозволяє більш повно розкрити та використати закладений біологічний потенціал вихідної сировини, уповільнити або звести до мінімуму процеси, що призводять до погіршення її якості, а отже, це дає змогу одержати високоякісні продукти, які не можуть бути одержані при інших методах обробки.

Все вищесказане обумовлює доцільність застосування кріогенного «шокового» заморожування та низькотемпературного подрібнення, як найбільш прогресивних методів глибокої переробки та розробки кріотехнології заморожених та порошкоподібних дрібнодисперсних добавок із інуліновмісної сировини, зокрема, із бульб топінамбура.

### **1.6. Новий напрямок в переробці харчової сировини – кріогенне «шокове» заморожування та дрібнодисперсне подрібнення плодів та овочів з використанням рідкого та газоподібного азоту**

Як вже було зазначено, найефективнішими способами переробки рослинної сировини на сьогодні є заморожування та сублімаційне сушіння, які забезпечують найкраще збереження вітамінів та інших

БАР [73–76, 81, 82, 86]. Проте, під час розморожування продуктів спостерігаються втрати клітинного соку і вітамінів, а гарантійні терміни зберігання замороженої продукції обмежені шістьма місяцями [74–76]. За кордоном широко застосовується криогенне «шокове» заморожування із застосуванням криогенних рідин (рідкого азоту, рідкої вуглекислоти та ін.) [81–82]. Сьогодні в холодильному консервуванні при «шоковому» заморожуванні та холодильному обладнанні при транспортуванні харчових продуктів використовують наступні засоби отримання холодоагентів: машинний, акумуляторний, сухий лід та зріджені гази та комбіновані. Найбільш широке застосування знайшов рідкий та газоподібний азот, який є натуральним середовищем і одночасно є інертним та холодильним агентом.

Перспективність азотних систем охолодження та криогенного заморожування визначається цілим рядом переваг по відношенню до інших холодильних агентів, зокрема: інертність середовища, відсутність забруднення навколишнього середовища, надійність в експлуатації, безпека в роботі, невичерпані природні запаси та інші [138]. Це сприяло тому, що з'явилося багато азотних технологій в різних галузях промисловості, в тому числі при переробці, заморожуванні, охолодженні, транспортуванні, зберіганні фруктів, ягід, овочів, м'яса, риби та ін. [138, 139].

Крім того, рідкий та газоподібний азот використовується для зберігання фруктів, овочів, зерна, кормів (травяного борошна, комбікормів) у регульованому газовому середовищі (РГС). Газові середовища, що використовуються, відрізняються від складу звичайної атмосфери зниженим вмістом кисню та підвищеним – азоту та вуглекислого газу. При знаходженні продуктів у РГС сповільнюються фізіологічні та біохімічні процеси, знижується ураженість збудниками захворювань, краще зберігаються зовнішній вигляд та аромат. Підбором складу РГС, що найбільш підходить для даного виду продукції, можна збільшити терміни зберігання в півтори-два рази та знизити втрати у декілька разів. Тобто спостерігається значний економічний ефект від використання РГС. За останні 20...30 років зберігання харчової продукції в РГС отримало в світі широке розповсюдження і становить від 20 до 70% всієї продукції, що довго зберігається. Застосування рідкого азоту знайшло широке застосування при заморожуванні плодів, овочів, м'яса, риби при консервуванні холодом [138, 139].

Відомо, що основним компонентом харчових продуктів, крім білків, жирів, вуглеводів, мінеральних речовин, вітамінів та ін. БАР, є во-

да, яка становить 70...95% за масою [7, 72–74]. Отже, одним з основних процесів, що відбуваються у продуктах при заморожуванні, є фазове перетворення води на лід, і від того, з якою швидкістю здійснюється цей процес, залежить якість заморожених продуктів [138].

При повільному заморожуванні процес кристалізації починається у міжклітинних просторах, що мають більш високу криоскопічну температуру. Вода клітин дифундує у міжклітинний простір до кристалічних зародків. В цьому випадку відбувається утворення досить крупних кристалів льоду, що в результаті призводить до руйнування клітинних стінок. Наприклад, у м'ясі, охолодженому впродовж 2-х годин за температури  $-20^{\circ}\text{C}$ , розміри кристалів у поверхні становлять 0,1...0,3 мм, а в глибинних шарах – 500...600 мм [72–74].

Перебіг процесу принципово змінюється при великих швидкостях охолодження, наприклад, з застосуванням рідкого азоту в якості холодоагенту. Підвищення швидкості заморожування скорочує міграцію вологи, збільшує число центрів кристалізації та швидкість їх зростання. У результаті утворюється велика кількість найдрібніших кристалів льоду розміром 10...20...40 мкм, рівномірно розподілених як у клітинах, так і в міжклітинному просторі. При цьому, не порушується цілісність клітинної структури. З підвищенням швидкості охолодження, крім зменшення розмірів кристалів, відбувається підвищення однорідності складу тканини, зменшуються в три-п'ять разів втрати тканинного соку при дефростації, а також зменшується швидкість руйнування цінних органічних сполук.

Швидкість заморожування оцінюється звичайно по просуванню зони затвердіння в продукті. За міжнародними стандартами розрізняють три види заморожування [72–74, 88, 89]:

- повільне зі швидкістю 0,1...0,2 см/год;
- помірне зі швидкістю 1...5 см/год;
- дуже швидке 5...20 см/год.

У 1975 р. Міжнародною організацією FAO/WHO було прийнято обґрунтування характеру консервування шляхом швидкого заморожування [89]. Згідно з цим обґрунтуванням, при швидкому заморожуванні найбільш суттєво, щоб температура продукту якомога швидше проходила через область так званого максимального кристалоутворення (від  $-1$  до  $-5^{\circ}\text{C}$ ), коли вимерзає основна частина наявної в продукті вологи. Із вище викладеного випливає, що чим більше низькі температури застосовуються під час заморожування, тим краще якість заморожених продуктів внаслідок утворення дрібнокристалічної льодової структури.

Проте концентрування клітинної вологи, що виникає під впливом вимерзання, небажаним чином діє на зворотність колоїдів, а через них і на якість продуктів.

В результаті пошуків оптимальних способів охолодження склалося декілька модифікацій, які відрізняються швидкістю заморожування харчових продуктів, які відображені в таблиці нижче.

<b>Спосіб охолодження</b>	<b>Швидкість заморожування, см/год</b>
Звичайне заморожування (фреонові холодильні машини) при нерухомому повітрі	0,15
Звичайне заморожування з примусовим рухом повітря	1,15
Звичайне заморожування в вихровому потоці	4,8
Заморожування розпилюванням рідкого азоту	12,0
Заморожування зануренням у рідкий азот	120,0

Із таблиці видно, що за допомогою традиційних методів вдалося збільшити швидкість охолодження більше ніж у 30 разів. Проте, навіть найбільш ефективні способи машинного охолодження не дають таку можливість дуже швидкого заморожування, яку надає рідкий азот. Заморожування з застосуванням цього холодоагенту, з точки зору виробництва, має цілий ряд переваг у порівнянні з традиційними. До їх числа відносяться [138]:

- азотні системи заморожування забезпечують дуже високу (до 100 градусів на хвилину) швидкість охолодження, зберігають нативну тканинну структуру та гальмують процес зневоднення клітин, забезпечують усушку продукту не більше, ніж на піввідсотка – майже на порядок менше, ніж при машинному способі;

- сповільнюються окиснювальні та ферментативні процеси, повністю зберігаються смакові якості продуктів;

- установки на рідкому азоті являються оптимальними системами з точки зору безперервності та автоматизації виробничого процесу, вони легко вписуються в потокові лінії, де процеси завантаження, зважування та пакування продуктів механізовані; при рівній продуктивності їх площа в шість-вісім разів менше механічних систем;

- простота конструкції забезпечує високу надійність та простоту експлуатації, малочисельність обслуговуючого персоналу;



- попереднє охолодження самих апаратів займає всього 20...30 хвилин, тоді як в звичайних – декілька годин;
- висока продуктивність, яку можна змінювати в широких межах, перевищує номінальну в три-п'ять разів, що може зіграти вирішальну роль при обробці великих обсягів продуктів у короткі строки;
- капітальні витрати на морозильне обладнання по відношенню до питомої потужності заморожування набагато нижче (згідно розрахункам деяких авторів – до 50%), ніж на традиційне морозильне обладнання, якщо не враховувати витрати на обладнання для отримання та скраплення азоту.

Ці переваги рідкого азоту призвели до того, що заморожування з його допомогою у світовій практиці застосовується все ширше, витісняючи традиційні методи охолодження. Будучи новим технологічним процесом, інтенсивне заморожування з застосуванням рідкого та газоподібного азоту знаходиться на стадії активного пошуку технологічних форм, які були б оптимальними за економічними показниками, тобто за витратами рідкого азоту на 1 кг продукту та за ступенем збереження якості продукту та його кількості. Існуючі методи заморожування відрізняються способом охолодження та переміщення сировини [72, 74, 89, 138].

В існуючих у світовій практиці установках з використанням рідкого азоту рослинна сировина або інші харчові продукти чи медико-біологічні препарати заморожуються шляхом занурення у рідкий азот, зрошення охолодженням у парах азоту або комбінацією перерахованих методів.

Спосіб заморожування рідким азотом шляхом занурення в рідкий азот почав швидко розвиватися на початку 50-х років у США [138]. Згідно з розробленою технологією, підготовлені до заморожування продукти по транспортеру подавали у ємність з рідким азотом, де приблизно через 5 хв його температура знижувалась до мінус 21° С. Заморожені продукти по транспортеру надходили безпосередньо на місце пакування. Газоподібний азот, що випаровувався, знову зріджувався та повертався в апарат. За минулий з тих пір час технологія заморожування рідким азотом стрімко розповсюдилась по всьому світу. Тепер вже відомо дуже багато різноманітних установок, що діють за аналогічним принципом. Проте, в останні роки спосіб занурення продуктів у азот на практиці мало використовувався, оскільки через занадто швидке заморожування важко регулювати тривалість

витримки продукту в ванні, а також великі витрати рідкого азоту, що економічно недоцільно.

На початку 70-х років з'явилася більш прогресивна і економічному плані технологія – обприскування рідким азотом [74]. Продукти, за новою технологією, зрошуються рідким азотом, а газ, що утворився, слугує для попереднього їх охолодження та доморожування. Під час доморожування починається процес вирівнювання температури між поверхнями та внутрішніми шарами. Сьогодні в міжнародній практиці застосовують кріогенні морозильні апарати, що діють саме за таким принципом, а також заморожування в середовищі газоподібного азоту. Продукти, що лежать на стрічці транспортеру, спочатку охолоджуються газоподібним азотом, примусова вентиляція яких створюється декількома вентиляторами. Потім здійснюється їх обприскування рідким азотом. На ділянці доморожування продукти стикаються з циркулюючим газом і потім по стрічці виводяться з апарату. Швидкість стрічки можна змінювати в широких межах (до 30 м/хв), тому тривалість заморожування легко регулювати. Продукти, що мають початкову температуру 21° С, заморожуються до -18° С за 1...5 хв залежно від їх розмірів. На заморожування 1 кг продукту витрачається 1,0...1,5 кг рідкого азоту, а на охолодження в середовищі газоподібного азоту – від 0,5 до 0,7 кг [74].

За допомогою рідкого азоту можна домогтися виключно швидкого заморожування. За даними Беке, Дегена та Шароя, температура малини при використанні технології занурення в рідкий азот через 15 секунд знижувалася до -20° С, а суниці – за 25...40 секунд. При заморожуванні шляхом обприскування рідким азотом швидкість замерзання, як показав Пап, досягає 15 см/год. Дані зарубіжних дослідників та виробничий досвід щодо заморожування готових страв, виробів з тіста, риби, птиці, ягід, фруктів, овочів однозначно свідчить про якісну перевагу обробки продуктів охолодженням або заморожуванням в середовищі газоподібного азоту [72–74, 89].

Недоліком рідкого азоту тривалий час вважалася порівняно висока вартість. Проте, сьогодні у всьому світі спостерігається тенденція до її зниження, яка пояснюється тим, що в газовій промисловості при виробництві штучних матеріалів, необхідних в ракетній техніці, при виконанні будівельних робіт, а також у металургійній промисловості, при виробництві рідкого кисню, рідкий азот фігурує як побічний продукт [89]. Його використання, яке можна налагодити шляхом невеликих капіталовкладень, дозволяє збільшити рентабельність виробництва основного підприємства.

Слід відзначити, що широке використання рідкого азоту передбачає організацію мережі азотозаправних станцій по його розподіленню та наявність відповідних транспортних засобів та ємностей для зберігання азоту. В багатьох країнах цей процес вже давно існує та морозильне обладнання легко забезпечує потрібною кількістю рідкого азоту. В багатьох країнах співвідношення витрат на капіталовкладення, виробництво та цін на холодоагент зсунуто на користь рідкого азоту [89].

В нашій країні застосування азотних технологій для заморожування харчових продуктів знаходиться в стадії експериментальних та дослідних розробок. Проектування та розробка морозильних установок на рідкому азоті проводиться Одеським СКТБ «Продмаш», Фізико-технічним інститутом низьких температур АН України та ін.

Для України в теперішній час доцільним є використання цього методу консервування для заморожування плодів, ягід, овочів та добавок з них. Це пов'язано з сезонністю сировини, періоду збору та переробки якої триває 2...3 місяці на рік, що позбавляє можливості рівномірного споживання таких високоякісних продуктів впродовж року. Застосування заморожених фруктів та ягід дозволить виключити сезонність їх споживання та забезпечить високий рівень збалансованого харчування.

В Україні цей спосіб криогенного заморожування поки не знайшов свого застосування, не розроблені також криогенні технології, отримання заморожених плодів та овочів, не вивчені біохімічні та фізико-хімічні процеси під час отримання заморожених продуктів із топінамбуру.

Відомо, що одним з інноваційних напрямків розвитку науки і техніки в міжнародній практиці є застосування низькотемпературного дрібнодисперсного подрібнення, що призводить до процесів механодеструкції (у тому числі кріомеханодеструкції), механоактивації й механохімії, які проявляються в разі збільшення ступеня дисперсності подрібнених матеріалів, у результаті чого продукт набуває нові властивості і перебуває в наноструктурованій формі [132–136]. У цей час перспективні способи дрібнодисперсного подрібнення вже знайшли широке застосування в металургійній, текстильній, авіаційній, хімічній, будівельній галузі та ін. У харчовій промисловості ці процеси практично не досліджені [81, 108, 113–115].

Тому, в роботі під час розробки технології заморожених та порошкоподібних дрібнодисперсних добавок із топінамбура як інновацію запропоновано використовувати криогенне «шокове» заморожування та дрібнодисперсне подрібнення, що супроводжуються проце-

сами кріомеханодеструкції та кріомеханохімії. Їх комплексне використання дозволяє розробити новий спосіб отримання добавок у формі дрібнодисперсного кріозамороженого пюре та порошку з якісно новими, порівняно з вихідною сировиною, характеристиками. За хімічним складом, останні не можна отримати традиційними методами обробки, що передбачають вплив на рослинну сировину високих температур (пастеризація, стерилізація, теплове сушіння та ін.).

Тобто, переваги кріогенного заморожування та дрібнодисперсного подрібнення, поряд із тепловими способами обробки, є очевидними. Використання зазначених технологічних прийомів дозволяє максимально зберегти біологічно активні фітокомпоненти вихідної сировини (топінамбура) та трансформувати полісахарид інουλін у водорозчинну форму (фруктозу та фруктоолігосахариди). У зв'язку з цим, актуальною є розробка технологій оздоровчих добавок із топінambuра з використанням як інновації кріогенного «шокового» заморожування та низькотемпературного дрібнодисперсного подрібнення.

Враховуючи вищевикладене, в межах наукової школи професора Павлюк Р.Ю. та професора Погарської В.В. запропонована розробка технології заморожених та порошкоподібних дрібнодисперсних добавок із інуліновмісної сировини, а саме, з топінambuра із застосуванням комплексної дії таких технологічних прийомів, як кріогенне «шокове» заморожування та дрібнодисперсне подрібнення, що призводять до процесів кріомеханодеструкції та кріомеханохімії. Нова технологія призначена для отримання добавок із інуліновмісної сировини (топінambuра), що відрізняються високим вмістом пребіотичних речовин, біологічно активних фітокомпонентів та можуть бути використані для отримання оздоровчих продуктів без застосування синтетичних домішок.

## **1.7. Нанотехнології в харчовій промисловості**

Сьогодні в світі в різних галузях промисловості спостерігається буквально «бум» зі створення нанотехнологій, у тому числі харчових [126–128, 135]. Пояснюється це тим, що з'явилися можливості цілеспрямовано отримувати дисперсні системи з частинками в нанодіапазоні (1-100 нм), контролювати їх будову та фракційний склад, що дає можливість проводити дослідження і розробку на молекулярному, атомному, мікромолекулярному рівні. Це дозволяє отримати матеріали, системи, структури і т. п. з принципово новими властивостями [121, 126].

На думку вчених, це пов'язано з тим, що в області нанорозмірів частинки різних матеріалів набувають нові властивості, не характерні для великого зразка [97–100, 101, 135]. Наочним прикладом тому може служити золото: у всіх довідниках вказана температура його плавлення – 1064° С, а температура плавлення золота подрібненого до наночастинок становить 500° С. Подібних прикладів можна навести дуже багато в різних галузях науки і техніки [90–93, 136]. Виявляється, цю сутність змін, що відбуваються з властивостями матеріалів при переході в нанометровий діапазон, неможливо описати відомими в сучасній науці закономірностями, тут необхідні глибокі дослідження квантово-механічних ефектів, що викликають зміни властивостей нанооб'єктів, що визначаються законами квантової механіки [132, 134].

У харчовій промисловості тільки починають усвідомлювати потенційні можливості нанотехнологій [126–128, 136]. Галузь застосування сучасних нанотехнологій в харчовій промисловості дуже різноманітна. У першу чергу, це відноситься до цілеспрямованого створення харчових продуктів нового покоління на основі частинок високої дисперсності і вузького фракційного складу. Потреба в таких продуктах продиктована зміною ставлення споживача до їжі, яка все більше розглядається не тільки як джерело поживних речовин з певними органолептичними властивостями, а й як важливий компонент у підтримці здоров'я. Відповідно починають розвиватися дослідження, спрямовані на те, щоб зрозуміти взаємозв'язок між нано-, супромолекулярними і більш крупними структурними елементами харчових продуктів та їх функціональністю. Показано, що наночастинки завдяки істотно більшою, порівняно з великими аналогами, поверхнею мають підвищену біологічну активність і становлять безсумнівний інтерес як транспортні засоби для введення БАР у функціональні продукти харчування, які зміцнюють здоров'я людини.

Приклади нанодисперсій, власно харчових продуктів, поки порівняно нечисленні. Наприклад, молоко – це нанопродукт, частинки якого знаходяться в наноформі. Також, до нанопродуктів відносяться традиційно вживані в їжу рослини у вигляді нанопорошків або емульсій, зокрема зелений чай, що містить наночастки з підвищеною антиоксидантною активністю. Показано, що антиоксидантна активність зеленого чаю при розмірах часток менше 1000 нм стократно перевищує антиоксидантну активність тих же сортів чаю при звичайному ступені подрібнення [132–135].

Широке поширення одержали харчові добавки в нанорозмірній

формі і збагачені ними продукти [120–122, 126–128]. Було виявлено, що властивості як самого продукту, так і харчової добавки, істотно змінюються при досягненні нанорозмірів. Так, наприклад, селен – життєво важливий елемент у вигляді елементарної речовини не засвоюється організмом людини, а в подрібненому стані до наночастинок у вигляді водної дисперсії селен добре засвоюється [127–128]. Подібних прикладів можна навести дуже багато при виготовленні харчових продуктів.

У виробництві харчових продуктів з рослинної і тваринної сировини в тій чи іншій мірі присутні нанооб'єкти (речовини або сполуки) різної природи (низько- і високомолекулярні речовини та біополімери), що беруть участь у різних нанопроцесах і утворюють різноманітні наноструктури [6, 7].

За даними професора Павлюк Р.Ю. та професора Погарської В.В., дослідження розмірів біологічних нанооб'єктів, вітамінів, біологічно активних речовин рослин, біополімерів рослинного і тваринного походження свідчить про те, що вони нанорозмірні [88, 89, 96, 98-101]. Так, молекула L-аскорбінової кислоти і каротину має розмір близько одного нм,  $\alpha$ -токоферол – 1,6 нм, кверцитину і рутину – 1,2 нм, фолієвої кислоти – 1,1 нм, ретинолу – 1 нм. Розміри молекул  $\alpha$ -амінокислот, які містяться в рослинах і в продуктах тваринного походження знаходяться в діапазоні від 0,42 нм (у гліцину) до 1 нм (у триптофану), інші амінокислоти займають проміжне положення. Розміри молекул хлорофілу складають 1,1 нм, фруктози – 0,8 нм, міцел казеїну в молоці в межах 40...200 нм, асоціати біополімерів – від 200 до 500...800 нм і т. п. [98]. Слід зазначити, що перші фундаментальні дослідження у світі в галузі харчових нанотехнологій були початі з вивчення властивостей міцел казеїну в натуральному молоці [137]. В даний час створені нанотехнології інкапсульованих наночастинок ліків в казеїнові міцели з наступною доставкою цих ліків у хворі органи. Існують й інші нанотехнології, які використовують молочні білки [137].

Аналіз літератури показав, що є різні види харчових нанотехнологій, в яких використовуються як природні нанооб'єкти живої природи, так і нанооб'єкти штучного або небіологічного походження [126–128]. У зв'язку з цим, в міжнародній практиці всі харчові нанотехнології ділять на 2 групи: природні та штучні. Під природними нанотехнологіями розуміють використання об'єктів живої природи. Так, наприклад, до них відносяться технологічні операції з міцелами казеїну, оболонками жирових кульок, природни-

ми харчовими біополімерами (білками, полісахаридами), ферментами, низькомолекулярними БАР (вітамінами, дубильними сполуками, ароматичними речовинами, і т.п.). На думку авторів монографії, у цю ж групу входять процеси дрібнодисперсного подрібнення, гомогенізації, ультрафільтрації, емульгування, поділу харчової сировини до нанометрових розмірів в цілях отримання нових харчових продуктів [126–128]. Зазначені процеси вже існують і застосовуються при переробці молока, плодово-ягідної сировини і, як правило, не здійснюють потенційної екологічної загрози. Проте робота з харчовими нанооб'єктами і з використанням перерахованих технологічних процесів не дозволяє говорити про нанотехнології [126–128]. Це пов'язано з тим, що в результаті роботи з нанооб'єктами з використанням різних нанопроцесів повинні отримати, зрештою, продукти зі зміненою і принципово новою наноструктурою, яку неможливо одержати, використовуючи традиційні методи переробки сировини [6, 7, 129].

Штучні нанотехнології дозволяють отримати нанооб'єкти, що не існують у живій природі. У цей напрямок входять нанотехнології, пов'язані з генною модифікацією живих організмів, білковою інженерією, синтезом і використанням синтетичних ферментів і т. п. Сюди ж відноситься введення в харчові продукти біологічно активних наночастинок небіологічного походження [136]. На думку багатьох видатних вчених, для промисловості, яка переробляє рослинну сировину (фрукти, ягоди, овочі, НЛПАРС, квітковий пилок, прополіс тощо) актуальним є перший напрямок – природні нанотехнології [6, 7, 119, 121].

У ХДУХТ проводяться широкомасштабні дослідження в цьому напрямку протягом 30 років, зокрема із використанням кріогенного подрібнення, що супроводжується процесами кріомеханодеструкції, механоактивації, що дозволяють отримати дрібнодисперсні нанодобавки і продукти з принципово новими властивостями порівняно з традиційними технологіями [92–110, 117, 120–122]. Розроблені нанотехнології рослинних добавок (у формі дрібнодисперсних порошків, пюре, екстрактів) і комбіновані оздоровчі продукти [38, 83, 89, 100]. Коротко зупинимося на основному науковому результаті, отриманому вперше не тільки в Україні, але і в міжнародній практиці. Так, при традиційній переробці рослинної сировини втрачається значна частина вітамінів, фенольних сполук, ароматичних речовин та інших БАР (до 80%) і спостерігаються великі відходи [6, 7]. А при отриманні, наприклад, наноструктурованого пюре з журавлини, чорноплідної го-

робини або лимонів, апельсинів з цедрою та інших із застосуванням кріогенного «шокового» заморожування та дрібнодисперсного подрібнення не тільки нічого не втрачається, а і якість отриманого замороженого пюре за вмістом вищеперелічених БАР, що знаходяться у вільному стані, в 3-4 рази перевищує вихідні ягоди або плоди. Розмір часток таких добавок в десятки і сотні разів дрібніше традиційних, засвоюваність живими організмами в кілька разів краща і швидша. Розкрито механізм цього процесу. Встановлено і доведено, що при використанні під час переробки рослинної сировини механічного подрібнення і заморожування (тобто з використанням процесів механодеструкції, кріодеструкції, кріодеструкції, механохімії і механоактивації) відбувається руйнування зв'язків між низькомолекулярними БАР і біополімерами, які переходять із зв'язаного стану у вільний, тобто вилучаються приховані форми БАР [119, 120].

На думку професора Павлюк Р.Ю. та професора Погарської В.В., проблема створення харчових нанотехнологій із заданими властивостями ускладнюється при розгляді гетерогенних рослинних біосистем (зокрема, окремих рослинних клітин), в яких, крім різних низькомолекулярних БАР, беруть участь різні високомолекулярні сполуки – білки, целюлоза, пектини та ін. (від 200 до 1000 найменувань), а також їх наноконплекси або наноасоціати, міжмолекулярні взаємодії і т. д. [6, 7]. Для харчових продуктів важливо, щоб при подрібненні не утворювались вільні окисні радикали, не відбувався процес руйнування молекул з розміром в декілька нанометрів і не відбувались процеси їх механохімії – утворення нових речовин невідомої природи. Тому, кожна окрема харчова нанотехнологія і різні види сировини потребують індивідуального технологічного підходу.

## **Висновки до розділу 1**

Встановлено, що в світі та в Україні у населення існує проблема імунодефіциту, викликана погіршенням екологічного становища, незбалансованістю харчування, дефіцитом в раціоні харчування харчових волокон, повноцінних білків, вітамінів, мінеральних речовин, фенольних сполук тощо. Виявлено, що в розвинених країнах проблему імунодефіциту вирішують шляхом введення в раціони харчування оздоровчих продуктів і добавок, особливо з плодоовочевої (або молочно-рослинної) сировини, які відрізняються високим вмістом пребіотичних речовин та біологічно активних фітокомпонентів, що сприя-



ють підвищенню імунітету.

Показано, що перспективною сировиною для отримання добавок з пребіотичними властивостями і їх застосування при виготовленні продуктів оздоровчої дії є традиційна для України інуліновмісна сировина – бульби топінамбуру.

Встановлено, що традиційні технології переробки топінамбуру в харчові добавки та продукти, засновані на використанні теплових методів обробки рослинної сировини, призводять до значних втрат (20...80 %) біологічно активних фітокомпонентів та не дозволяють вилучити з сировини приховані, зв'язані форми важкорозчинних біополімерів (зокрема інуліну, пектину, целюлози, білку) і трансформувати їх у легкозасвоювану розчинну форму. Таким чином, біологічний потенціал бульб топінамбуру застосовується не повною мірою.

Встановлено, що на сьогоднішній день найбільш прогресивними методами переробки рослинної сировини є криогенне «шокове» заморожування та низькотемпературне подрібнення.

Робіт, присвячених криогенним технологіям, що включають застосування криогенного «шокового» заморожування та дрібнодисперсного подрібнення, при отриманні дрібнодисперсних добавок із інуліновмісної сировини, зокрема топінамбура, в формі заморожених пюре та порошків з високим вмістом пребіотичних речовин та біологічно активних фітокомпонентів, не виявлено.

Таким чином, актуальною є розробка нового напрямку глибокої переробки інуліновмісної сировини та створення нанотехнології заморожених та порошкоподібних дрібнодисперсних добавок із інуліновмісної сировини з використанням комплексної дії криогенного «шокового» заморожування та дрібнодисперсного подрібнення. Останні супроводжуються процесами криомеханодеструкції, криомеханоактивації та криомеханохімії і дозволяють отримати якісно нові кінцеві продукти в нанорозмірній формі, з високим вмістом пребіотичних речовин та біологічно активних фітокомпонентів, які неможливо отримати, використовуючи існуючі сьогодні в світі технології.

### **Список використаної літератури до розділу 1**

1. FAO/WHO/UNU. Dietary protein quality evaluation in human nutrition. Report of an FAO Expert Consultation. Food and agriculture organization of the united nations Rome. 2013. Vol. 92. P. 1–57.
2. Глобальная стратегия ВОЗ по питанию, физической активности и здоровью: Руководство для стран по мониторингу и оценке осуществления. Жене-

ва: ВОЗ, 2009. 47 с.

3. Гуліч М. П. Рациональне харчування та здоровий спосіб життя – основні чинники збереження здоров'я // Проблемы старения и долголетия. 2011. Т. 20. № 2. С. 128–132.

4. Тутельян В. А. и др. Научные основы здорового питания. М.: Панорама, 2010. 816 с.

5. Капрельянц Л. В. Пребиотики: химия, технология, применение: монография. К.: ЭнтерПринт, 2015. 252 с.

6. Энциклопедия питания: в 10 т. Т. 5. Биологически активные добавки / под. общ. ред. Р. Ю. Павлюк та проф. В.В. Погарской; сост: Мир Книг, 2017. 406 с.

7. Павлюк Р. Ю., Погарська В.В., Павлюк В.А. та ін. Новий напрямок глибокої переробки харчової сировини: монографія. Х.: Факт, 2017. 380 с. (Серія «Інновації при переробці плодів, овочів і молока»).

8. Sabzevari O., Tritscher A. Joint FAO/WHO Expert Meetings (JECFA and JMPR) // Encyclopedia of Toxicology. 2014. Third Edition P. 9–12.

9. Vissavajhala, P. Impact of Nutrition on Healthy Aging // Nutrition and Functional Foods for Healthy Aging. 2017. Ch. 1. P. 3–10.

10. Gibson G., Roberfroid M. Handbook of Prebiotics. London: CRS Press, 2008. Vol. 4. P. 22–42.

11. Sousa M., Santos E., Sgarbeerli V. The importance of prebiotics in functional food and clinical practical // Food and Nutritional Science. 2011. Vol. 2. P. 133–144.

12. Перковец М. В. Инулин и олигофруктоза – больше, чем просто пищевые волокна и пребиотики // Молочная промышленность. 2007. № 9. С. 55–56.

13. Kolida S., Tuohy K., Gibson G. Prebiotic effects of inulin and oligofructose // The British journal of nutrition. 2002. Vol. 87. Iss. 2. P. 193–197.

14. Floch M. H. et al. Recommendations for probiotic use-2011 update // J. Clin Gastroenterol. 2011. Vol. 45. P. 168–171.

15. Floch M. H. et al. Recommendations for probiotic use-2015 update: proceedings and consensus opinion // J. Clin Gastroenterol. 2015. Vol. 49. P. 69–73.

16. Rasmussen H. E., Hamaker B. R. Prebiotics and Inflammatory Bowel Disease // Gastroenterology Clinics of North America. 2017. Vol. 46. Iss. 4. P. 783–795.

17. Valcheva R., Levinus Dieleman A. Prebiotics: Definition and protective mechanisms // Best Practice & Research Clinical Gastroenterology. 2016. Vol. 30. Iss. 1. P. 27–37.

18. Vandenplas Y. Probiotics and prebiotics in infectious gastroenteritis // Best Practice & Research Clinical Gastroenterology. 2016. Vol. 30. Iss. 1. P. 49–53.

19. Patel R., DuPont H. L. New approaches for bacteriotherapy: prebiotics, new-generation probiotics and synbiotics // Clin Infect Dis. 2015. Vol. 60. P. 108–121.

20. Carvalho E. Prebiotic Addition in Dairy Products: Processing and Health Benefits // Probiotics, Prebiotics and Synbiotics. 2016. Ch. 3. P. 37–46.

21. Martinez-Augustin O., Sánchez de Medina F. Nonprebiotic Actions of Prebiotics // Probiotics, Prebiotics and Synbiotics. 2016. Ch. 46. P. 619–632.

22. Ahanchian H., Jafari S. A. Probiotics and Prebiotics for Prevention of Viral Respiratory Tract Infections // Probiotics, Prebiotics and Synbiotics. 2016. Ch. 42.

P. 575–583.

23. Kojima Y., Ohshima T., Seneviratne C. J., Maeda N. Combining prebiotics and probiotics to develop novel synbiotics that suppress oral pathogens // *Journal of Oral Biosciences*. 2016. Vol. 58. Iss. 1. P. 27–32.

24. Swennen K., Courtin C. M., Delcour J. A. Nondigestible oligosaccharides with prebiotic properties // *Food Sci. Nutr*. 2006. № 46. P. 459–471.

25. Лисогор Т. А., Ліганенко М. Г. Волокноподібні неперетравні олігосахариди – перспективний клас пребіотиків // *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: зб. наук. праць*. Харків: ХДУХТ, 2012. Вип. 2 (16). С. 341–347.

26. Bultosa G. Functional Foods: Dietary Fibers, Prebiotics, Probiotics and Synbiotics // *Encyclopedia of Food Grains (Second Edition)*. 2016. Vol. 2. P. 11–16.

27. Meyer D. Health Benefits of Prebiotic Fibers // *Advances in Food and Nutrition Research*. 2015. Vol. 74. P. 47–91.

28. Kennedy J. F., Knill C. J. Probiotics and Prebiotics in Food, Nutrition and Health // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2015. Vol. 81. P. 982.

29. Miloh T. Probiotics in pediatric liver disease // *J Clin Gastroenterol*. 2015. Vol. 49. P. 33–36.

30. Donohue D., Safety of probiotic organisms // *Handbook of probiotics and prebiotics*. John Wiley & Sons, Inc, Hoboken (NJ) / Y. K. Lee, S. Salminen (Eds.). 2009. Ed. 2. P. 75–95.

31. Ford A. C. et al. Efficacy of prebiotics, probiotics, and synbiotics in irritable bowel syndrome and chronic idiopathic constipation: systemic review and meta-analysis // *Am J Gastroenterol*. 2014. 109. P. 1547–1561.

32. Vester B. M., Fahey G. Prebiotics of plant and microbial origin // *Direct-Fed Microbials and Prebiotics for Animals*. Springer, New York. 2012. P. 13–26.

33. Сімахіна Г. О., Українець А. І. Інноваційні технології та продукти оздоровчого харчування. К.: НУХТ, 2010. 295 с.

34. Бобренова И. В. Подходы к созданию функциональных продуктов питания: монография. СПб.: Интермедия, 2012. 180 с.: ил.

35. Tur J. A., Bibiloni M. M. Functional Foods // *Reference Module in Food Science, from Encyclopedia of Food and Health*. 2015. P. 157–161.

36. Galland L., Functional Foods: Health Effects and Clinical Applications // *Reference Module in Biomedical Sciences, from Encyclopedia of Human Nutrition (Third Edition)*. 2014. P. 366–371.

37. Angiolillo L., Conte A., Del M. A. Nobile Food Additives: Natural Preservatives // *Encyclopedia of Food Safety*. 2014. Vol. 2. P. 474–476.

38. Павлюк Р. Ю. Розробка технології консервованих вітамінних фітодобавок і їх використання в продуктах харчування профілактичної дії: автореф. ... дис. д-ра техн. наук: 05.18.13. Одеса, 1996. 36 с.

39. Диетические свойства инулина и олигофруктозы Beneo™. URL: [afi@orafti.com](mailto:afi@orafti.com) [www.orafti.com](http://www.orafti.com)

40. Roberfroid M. Fructo-oligosaccharide malabsorption: benefit for gastrointestinal functions // *Curr Opin Gastroenterology*. 2000. Vol. 16, Iss. 2. P. 173–177.

41. Донченко Л. В., Фирсов Г. Г. Пектин: основные свойства, производство и применение. М.: Дели принт, 2007. 276 с.
42. Ridley B. L., O'Neill M. A., Mohnen D. Pectins: structure, biosynthesis, and oligogalacturonide-related signaling // *Phytochemistry*. 2001. № 5. P. 967.
43. Buranaosota J. Partial depolymerization of pectin by a photochemical reaction // *Carbohydr. Res.* 2010. № 9. P. 1205–1210.
44. Безусов А. Т., Лиганенко М. Г. Пребиотический эффект галактурановых олигосахаридов // Розвиток наукових досліджень 2012: тез. доп. Міжнар. наук.-практ. конф. Полтава: ІнтернетГрафіка, 2012. Т. 5. С. 11–13.
45. Visser J., Voragen A. G. J. Pectins and Pectinases // Elsevier Science. 2009. Ed. 1. Vol. 14. P. 331.
46. Rubel I. A. et al. Inulin rich carbohydrates extraction from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers and application of different drying methods // *Food Research International*. 2018. Vol. 103. P. 226–233.
47. Голубев В. Н., Волкова И. В., Кушалаков Х. М. Топинамбур. Состав. Свойства. Способы переработки. Области применения. М., 1995. С. 31–35.
48. Старовойтов В. И., Старовойтова О. А., Звягинцев П. С., Лазунин Ю. Т. Топинамбур – культура многоцелевого использования // *Пищевая промышленность*. 2013. № 4. С. 22–25.
49. Ярошевич М. И., Вечер Н. Н. Топинамбур (*Helianthus tuberosus* L.) – перспективная культура многоцелевого использования // *Труды Белорусского государственного университета: научный журнал*. 2009. № 4 (2). С. 1–12.
50. Зеленков В. Н., Кочнев Н. К., Шелкова Т. В. Топинамбур (земляная груша) – перспективная культура многоцелевого назначения. Новосибирск, 1993. С. 18–30.
51. Зеленков В. Н. Культура топинамбура (*Helianthus tuberosus* L.) – перспективный источник сырья для производства продукции с лечебно-профилактическими свойствами: автореф. ... дис. д-ра с.-х. наук. М, 1999. 53 с.
52. Черненко А. В., Алтуньян М. К., Кубышкина Н. А. Перспективные направления в технологии переработки топинамбура // *Известия вузов. Пищевая технология*. 2010. № 5–6. С. 39–41.
53. Королев Д. Д. и др. Картофель и топинамбур – продукты будущего. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2007. С. 236–239.
54. Кочнев Н. К., Решетник Л. А. Лечебно-диетические свойства топинамбура. Иркутск, 1997. С. 6–11.
55. Лисовой В. В., Купин Г. А., Казимирова М. А., Викторова Е. П. Исследование химического состава и свойств пищевой добавки из топинамбура // *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности. АПК-продукты здорового питания*. 2016. № 4. С. 86–89.
56. Васильева Е. А. Использование добавок из топинамбура для расширения ассортимента продукции // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2007. № 1. С. 51–53.
57. Шаззо Р. И. и др. Топинамбур: биология, агротехника выращивания, место в экосистеме, технологии переработки (вчера, сегодня, завтра): моногра-

фия / под ред. Р. И. Шаззо. Краснодар: Юг, 2013. 184 с.

58. Кондратенко В. В., Купин Г. А., Шаззо Р. С., Екутеч Р. И. Комплексная переработка топинамбура на продукты питания функционального назначения // Инновационные технологии в области холодильного хранения и переработки пищевых продуктов. 2008. С. 132–133.

59. Титок В., Веевник А., Ярошевич М. Топинамбур – культура многофункционального назначения // Наука и инновации. Вып. 5 (I 35) 2014. С. 26–28.

60. Зяблицева Н. С. и др. Топинамбур, химическое и фармакологическое исследования, применение в медицинских и пищевых целях: монография. Пятигорск: Пятигорский медико-фармацевтический институт – филиал ГБОУ ВПО ВолгГМУ Минздрава России, 2010. 134 с.

61. Цгоева Т. Э. Химический анализ топинамбура сортов Скороспелка и Интерес // Известия Горского гос. аграрн. ун-та. 2011. Т. 48. № 2. С. 280–282.

62. Калашнова Т. В., Курлаева М. И. Безотходная переработка клубней топинамбура. Инновационные технологии в пищевой промышленности // Пятигорск, 2008. С. 171–175.

63. Екутеч Р. И. Разработка технологии получения инулина и пищевых волокон из клубней топинамбура: автореф. ... дисс. канд. техн. наук. Краснодар, 2010. 24 с.

64. Шаззо Р. И., Тугуз И. М., Лисовой В. В., Екутеч Р. И. Топинамбур – ценное сырье для производства БАД и продуктов специализированного назначения // Известия вузов. Пищевая технология. 2012. № 217. 18 с.

65. Ермош Л. Г., Березовикова И. П. Обоснование способа производства муки из топинамбура высокой пищевой ценности // Сибирский вестник сельскохозяйственных наук. 2012. № 2. С. 96–101.

66. Филиппова Е. В., Красина И. Б., Тарасенко Н. А. Разработка технологии вафельных изделий с использованием сахарозаменителей нового поколения // Известия вузов. Пищевая технология. 2011. № 5–6. С. 44–45.

67. Ермош Л. Г., Березовикова И. П. Технология хлебобулочных изделий из замороженных полуфабрикатов с использованием муки топинамбура // Техника и технология пищевых производств. 2012. № 4. С. 11–17.

68. Ермош Л. Г. Мука из топинамбура как структурообразователь замороженных хлебобулочных изделий повышенной пищевой ценности // Хлебопечение России. 2013. № 1. С. 23–26.

69. Умирзакова С. Х., Солтыбаева Б. Е. Топинамбур в производстве галет // Вестник Алматинского технологического ун-та. 2012. № 4. С. 69–73.

70. Магомедов Г. О. и др. Перспективы использования продуктов переработки клубней топинамбура в производстве пастило-мармеладных кондитерских изделий // Актуальная биотехнология. 2012. № 4 (3). С. 11–15.

71. Полянский К. К., Котов В. В., Гасанова Е. С., Пономарев А. Н. Фруктозо-глюкозные сиропы из топинамбура в молочных продуктах // Молочная промышленность. 2008. № 3. С. 74–76.

72. Сафронова Т. Н., Ермош Л. Г. Технологические аспекты получения пасты из топинамбура // Хранение и переработка сельскохозяйственного сырья.

2008. № 10. С. 20.

73. Способ комплексной переработки топинамбура: пат. Российской Федерации № 2392833 МПК А23L1/214. / Голубев В. Н.; заявитель и патентообладатель Голубев В. Н. № 2009132171/13; заявл. 27.08.09; опубл. 27.06.10, Бюл. № 16. 14 с.

74. Способ комплексной переработки топинамбура: пат. Российской Федерации № 2444908 МПК А23L1/309 / Никитин П. В., Новикова И. Л.; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Ростко Пищевые Ингредиенты». № 2010142651/13; заявл. 19.10.10; опубл. 20.03.12, Бюл. № 8. 10 с.

75. Чумак А. А. и др. Кинетические закономерности процесса сушки свеклы и топинамбура // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2008. № 4. С. 76–77.

76. Способ производства инстант-порошка для получения топинамбури-лимонного напитка: пат. № 2381678 Российская Федерация, МПК А23F5/44, А23L2/39 / Квасенков О. И. № 2008133536/13; заявл. 18.08.08; опубл. 20.02.10, Бюл. № 24. 7 с.

77. Лікарський засіб біфтоп: пат. на кор. модель № 54712; Україна, МПК А61К35/74 / Нейко Є. М, Боцюрко В.І., Митник З. М. та ін. № у 2002010715; заявл. 29.01.2002; опубл. 17.03.2003, Бюл. № 3. 2 с.

78. Груздева А. Е., Гришатова Н. В., Тимофеева Е. А. Криогенная технология переработки топинамбура и его практическое применение // Биоэнергетические культуры XXI века: тезисы докл. конф. Н. Новгород, 2008. С. 52–53.

79. Павлюк Р. Ю. и др. Крио- и механохимия в пищевых технологиях: монография. Х.: Факт, 2015. 255 с.

80. Каухчешвили Э. И. Сублимация, криобиология, применение холода в медицине // Обзорная инф. докладов на заседании комиссии МИХ. М.: Холодильная техника, 1980. № 6. С. 5–8.

81. Алмаши Э., Эрдели Л., Шарой Т. Быстрое замораживание пищевых продуктов. М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1981. 408 с.

82. Gaukel V. Cooling and Freezing of Foods // Reference Module in Food Science. 2016. P. 1–3.

83. Evans J. Emerging refrigeration and freezing technologies for food preservation // Innovation and Future Trends in Food Manufacturing and Supply Chain Technologies. Woodhead Publishing. 2016. P. 175–201.

84. Haiying W., Shaozhi Z., Guangming C. Experimental study on the freezing characteristics of four kinds of vegetables // LWT – Food Science and Technology. 2007. Vol. 40. Iss. 6. P. 1112–1116.

85. Xin Ying et al. Research trends in selected blanching pretreatments and quick freezing technologies as applied in fruits and vegetables: A review // International Journal of Refrigeration. 2015. Vol. 57. P. 11–25.

86. Frati A., Antonini E., Ninfali P. Industrial freezing, cooking and storage differently affect antioxidant nutrients in vegetables // Fruits, Vegetables and Herbs. 2016. Ch. 2. P. 23–39.

87. Tu J., Zhang M., Xu B., Liu H. Effects of different freezing methods on the quality and microstructure of lotus (*Nelumbo nucifera*) root // *International Journal of Refrigeration*. 2015. Vol. 52. P. 59–65.
88. James S. J., James C. Chilling and Freezing // *Food Safety Management*. 2014. Ch. 20. P. 481–510
89. Касьянов Г. И. и др. Технология криообработки и криопереработки растительного сырья // *Современные научные исследования и инновации*. 2012. № 3. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2012/03/10751>
90. Павлюк Р. Ю. та ін. Нанотехнології заморожених криопаст із плодів та овочів з унікальними характеристиками – добавок для функціональних молочних продуктів // *Молокопереробка*. 2010. № 1 (52). С. 24–29.
91. Shi L. et al. Grinding of maize: The effects of fine grinding on compositional, functional and physicochemical properties of maize flour // *Journal of Cereal Science*. 2016. Vol. 68. P. 25–30.
92. Balaz P. *Mechanochemistry in Nanoscience and Minerals Engineering* // Woodhead Publishing Limited. 2010. 400 p.
93. Pham Q. T. Freezing time formulas for foods with low moisture content, low freezing point and for cryogenic freezing // *Journal of Food Engineering*. 2013. Vol. 127. P. 85–92.
94. Ермош Л. Г. Новый вид сушки топинамбура // *Вестник КрасГАУ*. 2012. № 2. С. 217–218.
95. Троянkin А. Ю., Диденко А. А., Каталевич А. М., Меньшутина Н. В. Экспериментальные и аналитические исследования тонкодисперсных порошков, полученных методом сублимационной сушки в условиях активной гидродинамики // *Вестник МИТХТ МИТХТ им. М. В. Ломоносова*. 2011. № 1. С. 74–78.
96. Скрипников, Ю.Г. и др. Инновационные технологии сушки растительного сырья // *Университет им. В. И. Вернадского*. 2012. № 3 (41). С. 371–376.
97. Безусов А. Т., Пилипенко І. В., Средницька З. Ю. Вивчення ферментативних систем топинамбура для отримання інуліноподібних речовин In Vitro // *Наукові праці: наук. журнал*. 2009. Вип. 36. Т. 2.
98. Филатов В. В., Карпиленко Г. П., Крикунова Л. Н., Азизов Р. Р. Влияние режимов термообработки на биохимический состав топинамбура // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2008. № 2. С. 77–81.
99. Павлюк Р.Ю. и др. Новые технологии витаминных углеводсодержащих фитодобавок и их использование в продуктах профилактического действия: монография. Харьк. гос. академия технологии и организации и организации питания, Укр. гос. ун-т пищевых технологий. – Харьков; Киев. 1997. 285 с.
100. Павлюк Р. Ю., Погарська В. В., Балабай К. С. та ін. Вплив неферментативного каталізу на активацію гетерополісахаридбілкових нанокмплексів при розробці нанотехнологій плодоовочевих добавок // *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. Київ: НУХТ, 2017. Т. 23. № 5. Ч. 2. С. 149–161.
101. Pavlyuk R., Pogarska V., Balabai K., Loseva S. The impact of cryogenic freezing and non-enzymatic catalysis on destruction of inulin-proteic nanocomplexes

of topinambour to monomers // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: зб. наук. праць. Харків: ХДУХТ, 2017. Вип. 1 (25). С. 7–26.

102. Павлюк Р. Ю. та ін. Нове покоління натуральних оздоровчих нанонапоїв із фруктів, ягід та овочів для закладів швидкого харчування // Міжнародний кулінарний фестиваль у Харкові. KazanFireFest-2017. Кулінарні традиції та сучасні пріоритети в Україні, Європі та світі: інформаційно-довідкове видання. Харків: ХТЕК КНТЕУ, 2017. С. 60–72.

103. Pavlyuk R., Pogarska V., Maximova N., Balabai K. et al. The carotenoid buns «SunRoll» vitaminized by natural nanoadditives for healthful nutrition // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: зб. наук. праць. Харків: ХДУХТ, 2017. Вип. 2 (26). С. 7–20.

104. Pogarska V., Mykhailov V., Poharskii O., Balabai K. et al. Natural healthful fruit and vegetable nanobeverages with a record amount of BAS for enterprises of restaurant business, tourism and fitness // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: зб. наук. праць. Харків: ХДУХТ, 2017. Вип. 2 (26). С. 21–36.

105. Павлюк Р. Ю., Погарська В. В., Балабай К. С. Вплив заморожування та механолізу на деструкцію інуліну та збереження БАР при переробці топінамбуру // Scientific Letters of Academic Society of Michal Baludansky. 2017. № 5 (4). С. 89–93.

106. Павлюк Р. Ю., Погарська В.В., Таубер Р.Д., Погарський О.С. та ін. Сенсаційні факти та відкриття прихованих форм БАР та пектинових речовин в плодах та овочах в кулінарії оздоровчих харчових продуктів // Turystyka Hotelarstwo Gastronomia w Teorii i Praktyce. Poznan: Wyzsza Szkola Hotelarstwa i Gastronomii, 2017. С. 265–282.

107. Pavlyuk R., Pogarska V., Pavlyuk V., Balabai K. et al. The development of cryogenic method of deep treatment of inulin-containing vegetables (topinambour) and obtaining of prebiotics in the nanopowders form // Eureka: Life Sciences. 2016. № 3. P. 36–43.

108. Pavlyuk R., Pogarska V., Kotuyk T., Pogarskiy A. et al. The influence of mechanolysis on the activation of nanocomplexes of heteropolysaccharides and proteins of plant biosystems in developing of nanotechnologies // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016. № 3/11 (81). С. 33–40.

109. Pavlyuk R., Pogarska V., Balabai K. et al. The effect of cryomechanodestruction on activation of heteropolysaccharide-protein nanocomplexes during the development of nanotechnologies of herbal additives // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016. № 4/11 (82). С. 20–28.

110. Pavlyuk R., Pogarska V., Timofeyeva N. et al. Studying of mechanodestruction and cryogenic destruction during the development of nanotechnologies of frozen carotene-containing herbal additives // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016. № 5/11 (83).

111. Павлюк Р. Ю., Бессараб О.С., Погарська В.В. та ін. Розробка криогенної



технології нанопорошків із топінамбуру з використанням рідкого та газоподібного азоту // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2015. № 6/10 (78). С. 4–10.

112. Павлюк Р. Ю., Погарська В. В., Маціпура Т. С., Максимова Н. П. Розробка нанотехнології дрібнодисперсного замороженого пюре із грибів шампіньйонів (*Agaricus Bisporus*) // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2015. № 6/10 (78). С. 24–28.

113. Павлюк Р. Ю., Погарський О. С., Каплун А. А., Лосева С. М. Розробка кріогенної технології заморожування хлорофілвмісних овочів // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2015. № 6/10 (78). С. 42–47.

114. Pavlyuk R., Pogarskaya V, Bessarab A. et al. Cryogenic technology of fine-dispersed powdered additives from topinambour/ Progressive engineering and technology of food production enterprises, catering business and trade. Kharkiv: KhDUKht, 2015. P. 17–28.

115. Павлюк Р. Ю., Бессараб, А. С. Погарская В. В. Выявление закономерностей и механизмов при криогенном «шоковом» замораживании топинамбура и других овощей и плодов на состояние микрофлоры // Вестник Алматинского технологического университета. Казахстан, 2015. № 1 (106). С. 40–45.

116. Павлюк Р. Ю., Погарська В. В., Бессараб О. С., Балабай К. С. та ін. Розробка нанотехнології дрібнодисперсних добавок з використанням кріомеханічної модифікації Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2014. № 6/10 (72). С. 54–57.

117. Pavlyuk R., Pogarskaya V., Timofeyeva N. et al. The new about carotenoids during the refrigerating processing of carotene-containing vegetables and berries with use of cryo- and mechanical destruction // Progressive engineering and technology of food production enterprises, catering business and trade. Kharkiv: KhDUKht, 2014. P. 89–95.

118. Павлюк Р. Ю., Погарська В. В., Радченко Л. О. та ін. Розробка технології наноекстрактів та нанопорошків із прянощів для оздоровчих продуктів // Східно-Європейський журнал передових технологій. 2015. № 3/10 (75). С. 54–59.

119. Капрельянц Л. В. Ферменты в пищевых технологиях: монография. Одесса: Друк, 2009. 460 с.

120. Безусов А. Т., Малькова М. Г. Технологія виробництва галактуроно-вих олігосахаридів із пектинвмісної сировини // Харчова наука і технологія. Одеса: ОНАХТ, 2010. № 1 (10). С. 58–61.

121. Balaz P., Balaz M., Vujnakova Z. Mechanochemistry in technology: from minerals to nanomaterials and drugs // Chemical Engineering & Technology. 2014. Vol. 37. Iss. 5. P. 747–756.

122. Zhao X., Zhu H., Zhang G., Tang W. Effect of superfine grinding on the physicochemical properties and antioxidant activity of red grape pomace powders // Powder Technology. 2015. Vol. 286. P. 838–844.

123. Гальчинецкая Ю. Л., Гриненко Н. С. Низкотемпературная технология получения биологически активных криас-добавок из натурального растительного сырья // Новые технологии при решении медико-экологических проблем. 2000. С. 55–57.

124. Bach V. et al. Enzymatic browning and after-cooking darkening of Jerusalem artichoke tubers (*Helianthus tuberosus* L.) // *Food Chemistry*. 2013. Vol. 141. Iss. 2. P. 1445–1450.

125. Bach V., Clausen M., Edelenbos M. Production of Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) and Impact on Inulin and Phenolic Compounds // *Processing and Impact on Active Components in Food*. 2015. Ch. 12. P. 97–102.

126. Dias Nildo S., Jorge F.S. Ferreira, Xuan Liu, Donald L. Suarez Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*, L.) maintains high inulin, tuber yield, and antioxidant capacity under moderately-saline irrigation waters // *Industrial Crops and Products*. 2016. Vol. 94. P. 1009–1024.

127. Симахина Г. А. Повышение биологической усвояемости криоматериалов как проявление механоактивации // *Вибротехнологии – 96*. Одесса, 1996. Т. 3. С. 75–78.

128. Balaz P. *Mechanochemistry in Nanoscience and Minerals Engineering* // Woodhead Publishing Limited. 2010. 400 p.

129. Dherani M. et al. Blood levels of vitamin C, carotenoids and retinol are inversely associated with cataract in a North Indian population // *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. 2008. Vol. 49. Iss. 8. P. 3328–3335.

130. Павлюк Р. Ю. та ін. Вплив неферментативного каталізу на активацію гетерополісахаридбілкових наноконкомплексів при розробці нанотехнологій плодощовочевих добавок // *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. К.: НУХТ, 2017. Т. 23, № 5, Ч. 2. С. 149–161.

131. Склад пюреподібного продукту на основі топінамбуру з фруктовими добавками для дієтичного харчування: пат. на корисну модель 99567 UA, МПК A23L 3/36 (2006.01). Павлюк Р. Ю., Погарська В. В., Бессараб О. С., Балабай К. С.; заявл. 31.12.2014; опубл. 10.06.2015, Бюл. № 11. 4 с.

132. Павлюк Р.Ю., Погарська В.В., Соколова Л.М. Створення та впровадження прогресивних технологій і ефективного обладнання для отримання нових функціональних оздоровчих харчових продуктів // *Сучасні проблеми холодильної техніки і технології: зб. наук. праць присвяч. 85-річчю Одеської державної академії холоду*. Одеса, 2007. С. 106–110.

133. Павлюк Р.Ю., Яницкий В.В., Крячко Т.В. и др. Новые технологии антоциановых добавок (Новое в технологии консервирования): монография. Харьк. гос. ун-т питания и торговли. – Харьков; Киев: ХГУПТ, 2008. 261 с.

134. Погарская В.В., Черевко А.И., Павлюк Р.Ю. и др. Новые технологии функциональных оздоровительных продуктов (Новое в технологии консервирования): монография. Х.: ХГУПТ, 2007. 262 с.

135. Погарская В. В. Научное обоснование технологий каротиноидных и хлорофиллсодержащих мелкодисперсных растительных добавок: автореф. ... дисс. д-ра техн. наук: 05.18.13. Одесса: ОНАХТ, 2012. 40 с.

136. Погарская В. В. и др. Активация гидрофильных свойств каротиноидов растительного сырья: монография. Х.: Фінарт, 2013. 345 с.

137. Делчев Н. Д., Денев П. П., Панчев И. Н., Кирчев Н. А. Экстракция пектиновых веществ из различных частей растения топинамбур (*Helianthus tuberosus*

L.) // Бутлеровские сообщения. 2009. № 7 (18). С. 48–50.

138. Оводов Ю. С. Современные представления о пектиновых веществах // Биоорган. Химия. 2009. № 3. С. 293–310.

139. Пища и пищевые добавки. Роль БАД в профилактике заболеваний: пер. с англ. / под ред. Дж. Ренсаль, Дж. Донелли, Н. Рида. М.: Мир, 2004. С. 212–213.

140. Chaudhry O., Castle P., Watkins R. Nanotechnology in food. RSC 2010. Publishing. 300 p.

141. Sozer N., Kokini J. L. Nanotechnology and its applications in the food sector // Trends Biotechnol. 2009. Vol. 27. P. 82–89.

142. Кузнецов Г. Нанотехнології в харчовій промисловості. Ч. 1: Що це і навіщо? // Превентивна медицина. 2013. МЛ № 8 (104). С. 48–50.

143. Ручьев А. С. Совершенствование производства быстро-замороженной растительной продукции с использованием жидкого и газообразного азота: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.04. Москва, 2003. 152 с.

144. Балабанов В. И. Нанотехнологии. Наука будущего – фантастические возможности ближайшего будущего. Сер. Открытия, которые потрясли мир. М.: Эксмо, 2009. 246 с.

145. Патон Б., Москаленко В., Чекман І., Мовчан Б. Нанонаука і нанотехнології: технічний, медичний та соціальний аспекти // Вісн. НАН України. 2009. № 6. С. 18–26.

146. Хартманн У. Очарование нанотехнологии: пер. с нем. 3-е изд. (эл.). М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. 173 с.: ил. (Нанотехнологии).

147. Ремпель А. А. Нанотехнологии, свойства и применение наноструктурированных материалов. М.: Успехи химии. 2007. Т. 76. № 5. С. 474–500.

148. Фостер Л. Нанотехнологии. Наука, инновации и возможности. М.: Техносфера, 2006. – 560 с.

149. Юдина С. Б. Технология продуктов функционального питания: монография. М.: ДеЛи принт, 2008. – 280 с.

150. Веркин Б. И., Павлюк Р.Ю и др. Технология криогенного измельчения сырья при получении порошкообразных концентратов для безалкогольных напитков // Обзорная информация. Серия 22. Пивоваренная и безалкогольная промышленность. М.: АгроНИИТЭИПП, 1988. Вып. 8. 28 с.

151. Веркин, Б. И. Новая “профессия” азота / Б. И. Веркин, Д. Н. Большуткин, Ю. Б. Скловский. – Харьков: Прапор, 1985. – 88 с.

152. Нанотехнології «NatureSuperFood» для здорового харчування : монографія / Р.Ю. Павлюк, В.В. Погарська, В.А. Павлюк, А.А. Берестова, К.С. Балабай та ін. – Харків: Факт, 2019 – 487 с.

## **РОЗДІЛ 2. НОВИЙ СПОСІБ КРІОГЕННОЇ ОБРОБКИ ТОПІНАМБУРА ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ КІЛЬКОСТІ МІКРО- ОРГАНІЗМІВ ПРИ «ШОКОВОМУ» ЗАМОРОЖУВАННІ**

Робота присвячена виявленню закономірностей і механізмів з використанням різних швидкостей заморожування бульб топінамбура до різних кінцевих температур в продукті при кріогенному «шоковому» заморожуванні на склад мікрофлори. Метод кріоскопії дозволив встановити, що найбільш ушкоджуючим для вегетативних форм мікроорганізмів є швидкий режим заморожування (зі швидкістю 1, 5, 10, 20 °С/хв) до кінцевої температури –35 °С, –40 °С. Розроблена технологія і технологчна схема виготовлення заморожених добавок із топінамбура з застосуванням рідкого та газоподібного азоту при кріогенному «шоковому» заморожуванні та кріогенному подрібненні висушеної сублімаційним сушінням сировини при отриманні кріопорошків.

Відомо, що що вирішальним фактором при сушінні і заморожуванні рослинної сировини (плодів і овочів), є його підготовка, яка включає миття, різання, бланшування, заморожування. В процесі заморожування відбувається гальмування або повне припинення розвитку мікроорганізмів, уповільнення біохімічних процесів, обумовлених дією ферментів продукту і виділених мікробами, а також зниження швидкості біохімічних, фізичних і хімічних змін, що відбуваються під впливом зовнішнього середовища. Зазвичай при підготовці фруктів і овочів до сублімаційного сушіння, заморожування до різних видів теплового сушіння дія окислювальних ферментів (особливо тих, що руйнують вітамін С), а також зниження кількості мікроорганізмів зупиняють шляхом термічної обробки (бланшуванням, ошпарюванням парою та ін.). Крім того, можуть піддавати сульфитації або обробці речовинами кислот (лимонної, аскорбінової). При кріогенній обробці харчових продуктів рідким або газоподібним азотом дія окислювальних ферментів припиняється при більш низьких температурах в продукті (зокрема, –35...–40 °С) в заморожених продуктах з використанням високих швидкостей, ніж при традиційних методах заморожування до –18 °С, як це було показано в роботах авторів монографії [1, 2].

Відомо, що швидкість заморожування є вирішальним фактором при отриманні сублімованих і заморожених продуктів. За даними американських дослідників E.G.V. Goding фірма Com Producte International, а також інших вчених найкращу якість сублімованих і заморожених продуктів (зокрема фруктів і овочів) отримують, якщо

продукт заморожують з максимально високою швидкістю із застосуванням рідкого азоту. Заморожування продуктів в рідкому азоті (методом зрошення) або із застосуванням газоподібного азоту дозволяє краще зберегти рослинні продукти, ніж при звичайному заморожуванні в повітряних швидкоморозильних апаратах, перш за все за рахунок кращого стану гістологічної структури, консистенції продуктів, а також гідрофільності їх тканин [1, 2, 3]. Тривалість процесу «шокового» заморожування рідким азотом в 4...5 разів коротша, а вагові втрати в 2...3 рази менші, ніж при заморожуванні традиційним способом. В міжнародній практиці продукти прийнято заморожувати до температури -18...-20 °С, рідше -25...-30 °С, іноді до мінус 196 °С при температурі в швидкоморозильному апараті -32...-40 °С.

Відомо також, що заморожування харчових продуктів рідким азотом до -18 °С не призводить до загибелі мікроорганізмів, а деякі мікроорганізми і клітини піддають кріоконсервуванню рідким азотом. При цьому вони зберігають свою життєдіяльність протягом декількох років [1, 3].

За даними Алмаші, а також інших дослідників, велика кількість мікроорганізмів залишається живими як в разі повільного, так і в разі швидкого заморожування [3]. При швидкому заморожуванні (температура від -79 до -180 °С), мікроорганізми краще зберігаються, ніж при повільному. Слід зазначити, що останнім часом з метою забезпечення найбільш тривалого зберігання мікроорганізмів вдаються до сублімаційного сушіння. За даними Чіба та ін., відомо, що відмирання мікроорганізмів найбільш велике на ділянці максимального утворення кристалів льоду (-1...-5 °С). При більш низьких температурах швидкість відмирання, навпаки, значно знижується. Таким чином, при температурі нижчій, ніж температура максимального кристало-утворення, мікроорганізми відмирають менше і повільніше. Відомо також, що деякі організми витримують температуру абсолютного нуля [3]. Так, наприклад, спори бактерій, як показав Беккерель, протягом багатьох годин витримують температуру 0,17 °К *Proteus Vulgaris* і *Bact. Coli* залишаються живими протягом 10 годин за температури рідкого водню (-252 °С). Є й такі мікроорганізми, які зберігають життєздатність після стократного розморожування та заморожування. У природі на льоду і снігу зустрічається велика кількість живих бактерій. За даними Алмаші та ін. дослідників, загибель мікроорганізмів суттєво менша при більш низьких температурах (-20...-25 °С), ніж при -8...-12 °С [3]. При температурах нижче -25 °С, коли біологічні процеси (ферментативні) і денатурація

колоїдів повністю припиняються, мікроорганізми ще тривалий час залишаються життєздатними [3]. Особливо це характерно для бактеріальних спор, які містять набагато менше води, ніж вегетативні клітини.

Є літературні дані щодо того, що застосування занадто низьких температур при заморожуванні клітин біологічних об'єктів призводить, через вимерзання води, до незворотніх змін у колоїдних системах [4, 5, 6, 7, 8, 9]. Зменшення коагуляції білків при низьких температурах автори спостерігали цілком достовірно. Однак була встановлена і протилежна закономірність: зниження температури зменшує швидкість реакції денатурації. З вищевикладеного випливає, що літературні дані щодо впливу низьких температур, в тому числі рідкого азоту, при заморожуванні на мікроорганізми і клітини носять суперечливий характер. Це пов'язано з тим, про до кінця не з'ясований механізм впливу низьких температур на структуру і фізіологічні властивості біологічних об'єктів і мікроорганізмів при їх заморожуванні [3–7].

За сучасними уявленнями, при заморожуванні біологічних об'єктів, в тому числі мікроорганізмів, вони підлягають впливу ряду фізико-хімічних факторів, що виникають при фазовому переході води: внутрішньо- та позаклітинні кристали льоду, підвищена концентрація електролітів, зміна рН внутрішньо- і позаклітинного середовища [6–7].

В даний час сформульовано декілька гіпотез щодо механізмів кріоконсервування та кріоушкоджень біологічних структур: механічне пошкодження кристалами льоду, пошкодження за рахунок ліотропної дії солей на ліпід-білкові комплекси плазматичних біомембран; пошкодження під впливом осмотичних градієнтів при досягненні клітиною певного мінімального обсягу; пошкодження за рахунок денатурації білків, що виникають внаслідок утворення дисульфідних зв'язків або окислення SH-груп; «холодовий шок», що супроводжується послабленням гідрофобних зв'язків і фазовими переходами в біомембранах, що призводить до порушення їх проникності [3–7]. Всі ці механізми кріоушкоджень, крім температурного фактору, пов'язані з динамікою і місцем утворення кристалів льоду. Провідним фактором, що визначає динаміку внутрішньо- та позаклітинної кристалізації води, а також розмір кристалів льоду, що утворюються, є швидкість охолодження. При повільному охолодженні відбувається термодинамічне урівноваження води шляхом дегідратації, при швидкому – шляхом внутрішньоклітинного утворення дрібних кристалів. При ліофілізації на мікроорганізми крім факторів, що реалізуються на етапі охолодження, впливає ще потік молекул, газів та пари, від'ємний тиск, теплопідведення, осмотичний «шок» при регідратації [2, 3, 4].

Аналіз літературних даних показує, що різні види і навіть штампи мікроорганізмів мають різну чутливість до режимів і процесів заморожування і ліофілізації [2, 3, 4, 5]. При цьому, як правило, заморожування мікроорганізми переносять краще, ніж ліофілізацію. Так, за даними Англійської національної колекції дріжджових культур, життєздатність дріжджів роду *Saccharomyces*, *Candida*, *Brettanomyces* при кріоконсервуванні з застосуванням рідкого азоту складала, відповідно, 65, 75 і 64% (впродовж 12 місяців), а відразу після ліофілізації – 5, 13 і 2%. За даними Американської колекції типових культур, з 6500 бактеріальних культур, що зберігаються близько 1 року в замороженому стані з застосуванням рідкого азоту, 100 штамів не вдалося ліофілізувати [1, 3].

Незважаючи на те, що у багатьох джерелах зарубіжної та вітчизняної літератури віддається перевага високим швидкостям заморожування, сьогодні немає єдиної точки зору щодо того, чи доцільно заморожувати рослинну сировину при інтенсивних режимах з метою зменшення кількості мікроорганізмів. Суперечливість думок можна пояснити тим, що до кінця не з'ясований механізм впливу низьких температур на структуру і фізіологічні властивості мікроорганізмів.

Сказане вище дає підставу припустити, що заморожування за різними програмами, ліофілізація та зберігання за різних температур можуть впливати на кількість мікроорганізмів, що знаходяться на продуктах.

Застосування рідкого азоту при заморожуванні фруктів і овочів перед заморожуванням та сублимаційним сушінням визначає перебіг мікробіологічних та біохімічних процесів, специфіка яких до даної роботи майже не вивчена. Відсутня також раціональна технологія його використання на стадії кріогенного заморожування рослинної сировини, в тому числі інуліновмісної. У зв'язку з цим, доцільним і актуальним є проведення наукових досліджень щодо виявлення механізму впливу рідкого азоту на мікрофлору під час кріогенного заморожування бульб топінамбура з різними швидкостями до різних кінцевих температур в продукті та вивчення при цьому ультраструктури мікроорганізмів, а також дослідження їх стабільності під час зберігання при різних низьких температурах. Ці дані необхідні для наукового обґрунтування при розробці нової кріогенної технології отримання заморожених пастоподібних добавок та високовітамінних порошків із інуліновмісної сировини – топінамбура та інших овочів і фруктів.

В даний час немає єдиної точки зору і не з'ясований механізм впливу низьких температур при кріогенному «шоковому» заморожуванні овочів із застосуванням рідкого азоту на ультраструктуру клітин і фізіологічні властивості мікроорганізмів, що призводять до зниження їх

числа. Оскільки рослинна сировина перед кріозаморожуванням та СС не піддається тепловій обробці, необхідно було максимально знизити вміст мікроорганізмів, негативний вплив яких може позначитися на якості виробів, призвести до зниження їх термінів зберігання. У зв'язку з цим, проведені дослідження з виявлення механізму впливу рідкого азоту на ультраструктуру і кількість мікроорганізмів при заморожуванні інуліно-вмісної рослинної сировини та інших овочів і фруктів з різними швидкостями до різних кінцевих температур та простежена залежність між швидкістю охолодження, температурою та кількістю мікроорганізмів. Вивчена також їх тривалість зберігання при різних температурах.

У результаті проведених досліджень встановлено залежність зміни мікроорганізмів при кріозаморожуванні топінамбура, моркви та лимонів з цедрою від швидкості охолодження рідким азотом до різних кінцевих температур. Останні використовувались поряд з кріопастами з топінамбура при виготовленні оздоровчих продуктів, зокрема при отриманні біойогуртів, сиркових десертів, напоїв тощо. Показано, що заморожування рослинної сировини з високою швидкістю (10 °С/хв, 20 °С/хв) до кінцевої температури –35° С; –40 °С призводило до значного зниження кількості мікроорганізмів (табл. 2.1, рис. 2.1).

Таблиця 2.1

Вплив швидкості охолодження рідким азотом на мікрофлору при заморожуванні плодів до різних температур

Кінцева температура заморожування продукту, °С	Швидкість охолодження, °С/хв	Топінамбур		Морква		Лимони	
		Загальна кількість мезофільних бактерій, КУО в 1 г	% до вихідної	Загальна кількість мезофільних бактерій, КУО в 1 г	% до вихідної	Загальна кількість мезофільних бактерій, КУО в 1 г	% до вихідної
20	Контроль	1300,0±9,2	100,0	500,0±7,55	100,0	155,0±10,1	100,0
-10	1	1248,0±8,1	96,0	498,0±6,5	99,6	155,0±10,1	100,0
	5	1287,3±7,4	99,0	483,0±7,2	99,6	154,4±9,6	99,6
	10	1255,8±8,3	96,6	482,5±6,1	96,5	152,8±8,2	98,6
	20	1248,0±9,1	96,0	449,5±7,3	89,9	149,0±9,1	96,5
-20	1	1157,0±8,5	89,0	460,0±8,3	92,0	150,0±8,8	97,0
	5	1209,0±9,6	93,0	480,5±6,8	96,1	155,0±7,2	100,0
	10	1168,7±7,9	89,9	445,0±6,9	89,0	154,2±6,8	99,5
	20	1196,0±8,3	92,0	439,0±8,4	87,8	150,0±8,5	97,0
-35	1	1249,3±8,9	96,1	435,0±7,2	87,0	148,8±10,2	87,8
	5	624,7±9,1	48,0	250,0±7,8	50,0	74,4±7,3	50,0
	10	499,7±9,5	38,4	200,0±8,1	40,0	59,5±8,4	40,0
	20	374,8±8,7	28,8	150,0±7,4	30,0	29,7±7,5	30,0
-40	1	1196,0±9,3	92,0	470,0±8,2	94,0	145,7±6,7	94,0
	5	598,0±9,4	46,0	250,0±7,3	50,0	77,5±8,4	50,0
	10	478,4±8,7	36,8	200,0±7,6	40,0	62,0±7,8	40,0
	20	358,8±8,2	17,6	150,0±8,3	10,0	46,5±9,2	15,0



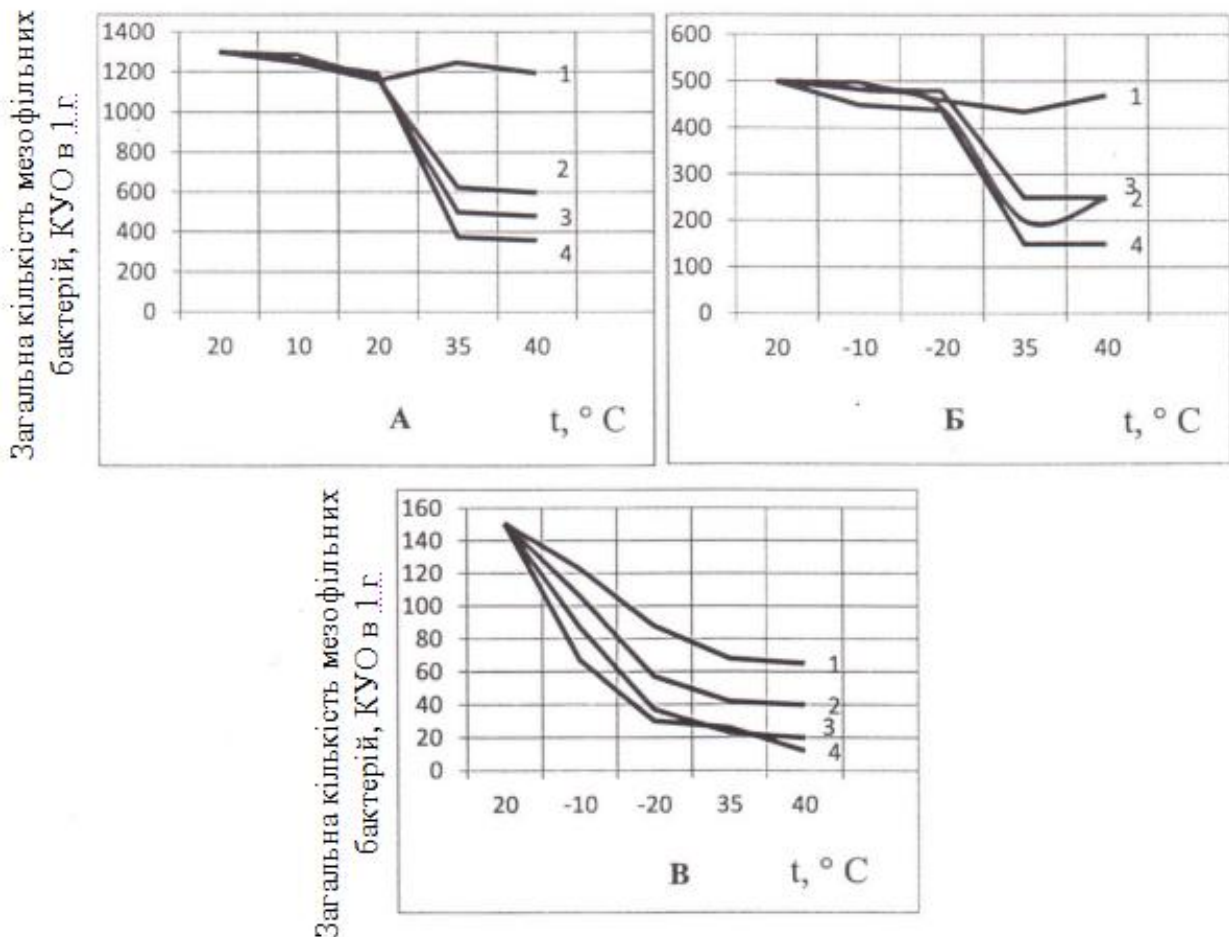


Рис. 2.1 – Залежність кількості мікроорганізмів при заморожуванні топінамбура (А), моркви (Б), лимонів з цедрою (В), від швидкості охолодження: 1 – 1 °С/хв.; 2 – 5 °С/хв.; 3 – 10 °С/хв.; 4 – 20 °С/хв. до різних кінцевих температур всередині продукту

Заморожування з різними швидкостями до температури  $-10\dots -20$  °С не призводило до зниження числа мікроорганізмів. При повільних швидкостях заморожування ( $1\dots 5$  °С/хв) до різних кінцевих температур загибель мікроорганізмів не відбувалася (табл. 2.1, рис. 2.1).

Відомо, що найбільш інформативним методом досліджень ультраструктури біологічних об'єктів, в тому числі мікроорганізмів, які підлягають різним режимам охолодження, є метод електронної мікроскопії, зокрема зразків, зафіксованих шляхом заморожування – сколювання. У зв'язку з цим в роботі був використаний даний метод для вивчення характеру і механізму пошкодження клітин мікроорганізмів при криогенному заморожуванні бульб топінамбура, моркви та методів з цедрою з заморожуванням рідкого та газоподібного азоту.

Показано, що під час повільного охолодження ( $1$  °С/хв) спостеріга-

ються зміни ультраструктури вегетативних форм мікроорганізмів бульб топінамбура, моркви та лимонів, які полягають в тому, що спостерігався складчастий характер цитоплазматичної поверхні, що є характерною ознакою їх обезводнення (рис. 2.2). Прийнято вважати, що складчастість цитоплазматичної мембрани (ЦПМ) є захисною реакцією клітин мікроорганізмів і є відповіддю на дегідратацію. Під час охолодження за повільних швидкостей ( $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{хв}$ ) вода встигає вийти із клітини мікроорганізмів і різниця між хімічним потенціалом іззовні і всередині клітини є невисокою і клітини при цьому значно зневоднюються. Переохолодження їх протоплазми до температури  $-10\text{...}-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  недостатньо для виникнення всередині клітин кристалів.



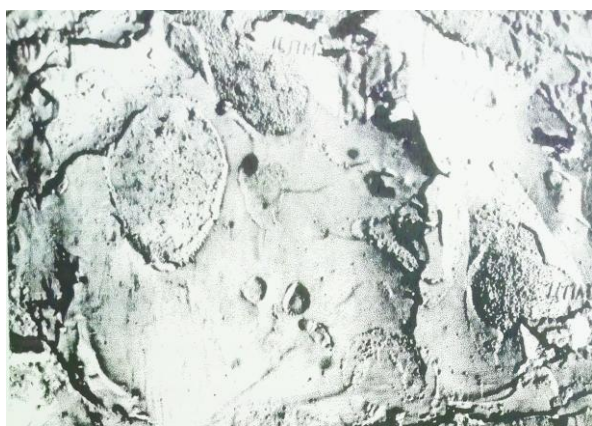
а



б

Рис. 2.2 – Скол повільно-заморожених мікроорганізмів рідким азотом. / Відзначається складчастий характер ЦПМ/, а – х 11 тис.; б – х 15 тис.

Метод кріоскопії дозволив встановити, що найбільш ушкоджуючим для мікроорганізмів є швидкий режим охолодження (зі швидкістю  $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{хв}$ ,  $20\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{хв}$ ) до кінцевої температури  $-35\text{...}-40^{\circ}\text{C}$ . У мікроорганізмах, охолоджених з такими швидкостями, найбільш часто спостерігаються розриви і розпушення клітинних стінок, які проявляються в переривчастому проходженні площині відколу, що може свідчити про порушення міжмолекулярних взаємодій (рис. 2.3). Відзначена також деформація клітинної поверхні кристалами льоду. Зазначені пошкодження можна пояснити тим, що при високих швидкостях охолодження мікроорганізмів рідким азотом ( $10\text{-}20\text{ }^{\circ}\text{C} / \text{хв}$ ) вода не встигає покинути клітини, і утворюються кристали льоду всередині клітини, які призводять до механічного пошкодження клітин мікроорганізмів, що призводить до їх руйнування (рис. 2.3).



а



б

Рис. 2.3 – Стан ультраструктури клітинної стінки / КС/, цитоплазматичної мембрани / ЦПМ / та внутрішнього вмісту мікроорганізмів при кріогенному «шоковому» заморожуванні з високими швидкостіми до температури мінус 40 °С, де: а – х 43 тис., б – х 34 тис.

Відмічена також тенденція до агрегації внутрішньомембранних частинок, що свідчить про те, що «холодовий шок», який супроводжується послабленням гідрофобних зв'язків і фазових переходів в біомембранах, призводить до пошкодження їх проникності.

Отримані експериментальні дані дозволяють по-новому уявити механізм зниження мікробної забрудненості під час заморожування плодів та овочів з використанням низьких температур.

Таким чином, вивчення впливу кріообробки з різними швидкостями під час кріогенного «шокового» заморожування топінамбура, моркви та лимонів з цедрою дозволило авторам прийти до висновку, що найбільш ушкоджуючий режим заморожування для мікроорганізмів – охолодження з високими швидкостями (10 °С/хв; 20°С/хв) до температури в продукті –35...–40 °С. Кількість мікроорганізмів залишалась в продукті від 5 до 10 °С при заморожуванні до мінус 40 °С і 28...30% при заморожуванні до мінус 35 °С. Використання швидкостей 1, 5 °С/хв до різних кінцевих температур в продукті –10 °С; –20 °С, –35 °С, –40 °С не призводить до руйнування мікроорганізмів. Отримані результати електронно-мікроскопічних досліджень використовувалися при розробці безвідходної технології отримання дрібнодисперсних заморожених добавок із топінамбура та порошоків із інуліно-вмісної сировини з рекордним вмістом біологічно активних речовин. За якістю вони перевершують відомі вітчизняні та зарубіжні аналоги.

## Список літератури до розділу 2

1. Павлюк, Р.Ю. Розробка технології консервованих вітамінних фітодобавок і їх використання в продуктах харчування профілактичної дії : дис. ... д-ра техн. наук / Р.Ю. Павлюк. – ОДАХТ: Одеса, 1996. – 446 с.
2. Павлюк, Р.Ю. Новые технологии витаминных углеводсодержащих фитодобавок и их использование в продуктах профилактического действия : моногр. / Р.Ю. Павлюк, А.И. Черевко и др. – Х. – К., 1997. – 285 с.
3. Алмаши Э., Эрдели Л., Шарой Т. Быстрое замораживание пищевых продуктов / Перевод с венгерского. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 408 с.
4. Актуальные проблемы криобиологии. Под ред. Н.С. Пушкаря, А.М. Белоуса. Киев: Наукова думка, 1981. – 608 с.
5. Пушкарь Н.С. Физико-химические основы метода низкотемпературной консервации биологических объектов. – В кн.: Механизмы криоповреждения биологических структур. Киев : Наукова думка, 1976. – С. 5–8.
6. Цуцаева А.А. Криоконсервирование клеточных суспензий. Киев : Наукова думка, 1983. – 240 с.
7. Ре Л. Консервация жизни азотом. М. : Медгаз, 1982. – 155 с.
8. Белоус А.М., Бондаренко В.А. Молекулярные механизмы криоконсервирования мембран. – В кн.: Итоги науки и техники. ВИНТИ АН СССР, сер. Биофизика. – М., 1978, №9 – С. 80–113.
9. Репин Н.В. Электронно-микроскопическое излучение характера кристаллизации при замораживании водных растворов криопротекторов и некоторых клеток / Автореф. канд. дис. – Харьков, Институт проблем криобиологии и криомедицины НАН Украины, 1984. – 197 с.
10. Веркин, Б.И. Технология криогенного измельчения сырья при получении порошкообразных концентратов для безалкогольных напитков / Б.И. Веркин, Р.Ю. Павлюк, Г.И. Максименко и др. // Обзорная информация. Серия 22. Пивоваренная и безалкогольная промышленность. – АгроНИИТЭИПП. – М. – 1988. – Выпуск 8. – 28 с.
11. Павлюк, Р.Ю. Освоение новых безотходных технологий витаминных фитодобавок и новых продуктов для иммунопрофилактики населения / Р.Ю. Павлюк // Обзорная информация. Серия 22. Пивоваренная и безалкогольная промышленность. – АгроНИИТЭИПП. – М. – 1996. – Выпуск 2. – 24 с.
12. Павлюк Р.Ю. Выявление закономерностей и механизмов при криогенном «шоковом» замораживании топинамбура и других овощей и плодов на состояние микрофлоры / Р.Ю. Павлюк, А.С. Бесараб, В.В. Погарская // Вестник Алматинского технологического университета. – Алматы. – 2015, №1. – С. 40–45.

### **РОЗДІЛ 3 КРІОМЕХАНОДЕСТРУКЦІЯ ТА КРІОМЕХАНОХІМІЯ БІОПОЛІМЕРІВ ІНУЛІНУ, ПЕКТИНОВИХ РЕЧОВИН, БІЛКУ ТОПІНАМБУРА ТА РОЗРОБКА НАНОТЕХНОЛОГІЙ ОЗДОРОВЧИХ ДОБАВОК**

Робота присвячена розробці принципово нового криогенного способу глибокої переробки інулінвмісної сировини – бульб топінамбуру та нанотехнологій дрібнодисперсних оздоровчих добавок у формі замороженого пюре та нанопорошків з високим вмістом БАР та пребіотиків сублімаційного сушіння (СС) з використанням криомеханічної модифікації. Остання включає застосування як інновації комплексної дії на сировину криогенного «шокового» заморожування та низькотемпературного подрібнення, які супроводжуються процесами криомеханодеструкції, криомеханохімії та неферментативними, біохімічними, мікробіологічними процесами. При цьому, проводились фундаментальні та прикладні дослідження виявлення закономірностей впливу перерахованих процесів на біополімери топінамбуру, зокрема на інулін, пектинові речовини, білки, целюлозу, їх криодеструкцію та трансформацію в їх низькомолекулярні складові та виявлення прихованих форм БАР та їх збереження. На основі наукових досліджень розроблені унікальні криогенні нанотехнології переробки бульб топінамбуру в нанодобавки в формі криопюре, криопорошків – пребіотиків в нанорозмірній формі з рекордним вмістом БАР та біополімерів у розчинній легкозасвоюваній формі. Розроблені криодобавки не мають аналогів у світі.

Головним при розробці нанотехнологій криозаморожених та порошкоподібних дрібнодисперсних добавок із топінамбура було повністю виключити теплову обробку сировини, провести трансформацію значної частини важкорозчинних біополімерів (зокрема інуліну, пектинових речовин, целюлози, білку) в розчинну легкозасвоювану форму, інактивувати окислювальні ферменти, максимально зберегти біологічно активні фітокомпоненти та збільшити ступінь їх вилучення з сировини, а також повністю виключити використання харчових домішок.

У зв'язку з цим, в завдання роботи входило проведення комплексних фундаментальних та прикладних досліджень, які полягали в наступному:

– вивченні комплексу пребіотичних речовин (інуліну, пектину, целюлози, білку) та біологічно активних фітокомпонентів (фенольних сполук, дубильних речовин, L-аскорбінової кислоти тощо) бульб то-

пінамбура – сировини для отримання заморожених та порошкоподібних дрібнодисперсних добавок;

– вивченні впливу заморожування до температури  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  традиційним способом в морозильній камері та кріогенним способом до більш низьких кінцевих температур в продукті до  $-35\text{...}-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  із застосуванням рідкого азоту на активність окиснювальних ферментів топінамбура та визначенні умов заморожування, при яких відбувається інактивація окиснювальних ферментів;

– вивченні впливу процесів кріодеструкції та механоактивації під час кріогенного «шокового» заморожування та дрібнодисперсного подрібнення на деструкцію інуліна, а також інших гетерополісахаридів – целюлози, пектинових речовин топінамбура;

– вивченні впливу процесів кріодеструкції та механоактивації під час кріогенного «шокового» заморожування та дрібнодисперсного подрібнення на конформаційні зміни та деструкцію молекул білка топінамбура та трансформацію амінокислот із зв'язаної форми у вільну під час отримання заморожених та порошкоподібних дрібнодисперсних добавок;

– вивченні впливу процесів кріодеструкції та механоактивації під час кріогенного «шокового» заморожування та дрібнодисперсного подрібнення на збереження біологічно активних фітокомпонентів (фенольних сполук, дубильних речовин, L-аскорбінової кислоти тощо) топінамбура;

– розробці нанотехнології заморожених та порошкоподібних дрібнодисперсних добавок із інуліновмісної сировини (топінамбура) з використанням кріомеханодеструкції та механоактивації, які супроводжуються процесами кріомеханохімії, вивченні їх якості за вмістом пребіотичних речовин та біологічно активних фітокомпонентів при виробництві та зберіганні, розробці НД (ТУ); проведенні апробації в промислових умовах, розрахунку ТЕО.

В Харківському державному університеті харчування та торгівлі (ХДУХТ, Україна) на кафедрі харчових технологій продуктів із плодів, овочів і молока та інновацій в оздоровчому харчуванні у співдружності з Київським національним університетом харчових технологій (м. Київ, НУХТ, Україна) кафедрою технологій консервування плодів та овочів розроблено унікальний кріогенний метод глибокої переробки топінамбуру та отримання з нього кріодобавок – замороженого кріо-пюре та нанопорошків – пребіотиків з рекордно високим вмістом БАР.

Від традиційних методів він відрізняється тим, що повністю включає теплову обробку сировини і заснований на використанні комплексної дії на сировину кріогенного «шокового» заморожування з використанням рідкого та газоподібного азоту, дрібнодисперсного подрібнення та сублімаційного сушіння. Метод дозволяє не тільки повністю зберегти закладений в овочах природою біологічний потенціал, а й більш повно його розкрити та вилучити приховані (зв'язані) форми як біологічно активних речовин (БАР), так і біополімерів і частково трансформувати їх в розчинну, легкозасвоювану наноформу.

Дослідження проводили в Харківському державному університеті харчування та торгівлі на кафедрі харчових технологій продуктів із плодів, овочів і молока та інновацій в здоровому харчуванні (м. Харків, Україна) в лабораторії «Інноваційних кріо- і нанотехнологій рослинних добавок та оздоровчих продуктів».

Кріогенне «шокове» заморожування проводили з використанням сучасного експериментального обладнання, зокрема, кріогенного програмного заморожувача з комп'ютерним забезпеченням (рис. 3.1), який працює з застосуванням як хладогенту та інертного середовища рідкого та газоподібного азоту. Кріогенний програмний заморожувач був розроблений в Національному аерокосмічному університеті ім. М. Є. Жуковського «ХАІ» (м. Харків, Україна) у співдружності зі співавторами статті. Кріогенну обробку зразків топінамбуру проводили за температури мінус 60 °С в швидкоморозильній камері. Зразки топінамбуру заморожували з різними швидкостями (2, 5, 10, 20 °С/хв.) до кінцевої температури в продукті -35...-40 °С. При цьому, на заморожування 1 кг овочів витрачалось від 0,5 до 1,0 л рідкого азоту, в залежності від товщини продукту, який заморожувався. Об'єм робочої камери по завантаженню сировини складав до 10 кг.

Сублімаційне вакуумне сушіння проводили у вакуумній сублімаційній сушарці (рис. 3.2), яка виготовлена на експериментальному заводі Інсти-



Рис. 3.1 - Кріогенний програмний заморожувач з програмним забезпеченням



Рис. 3.2 - Вакуумна сублімаційна сушарка, яка є в серійному виробництві

туту проблем кріобіології і кріомедицини Національної академії наук України (м. Харків, Україна) і призначена для сушіння медичних препаратів, живих мікроорганізмів, харчових продуктів та інших біологічних об'єктів. Сушарка є в серійному експортному виробництві. Сушіння зразків проводили за температури  $-20\text{ }^{\circ}\text{C} \dots -22\text{ }^{\circ}\text{C}$ , тиску  $-10^{-3} \dots 8 \cdot 10^{-4}$  Па та досушування за  $+50 \dots +55\text{ }^{\circ}\text{C}$  (протягом 30...40 хв). Сушіння проводили до кінцевої вологи 5%.

Дрібнодисперсне подрібнення проводили в подрібнювачах (зокрема шарових, вібраційно-шарових млинах, атриторі українського виробництва та кутері-активаторі (Франція) (рис. 3.3, рис. 3.4) за температури не вище  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  до розміру частинок в десятки разів менше, ніж при традиційному подрібненні.



Рис. 3.3 - Дрібнодисперсний кріоподрібнювач RasoJet (Франція)



Рис. 3.4 - Кутер Robot Coupe R301Ultra (Франція)

при розробці кріогенного методу переробки топінамбура у формі кріопюре та нанопорошків із топінамбура проводили шляхом визначення хімічних речовин у рослинній вихі-

Як об'єкти досліджень використовувались бульби топінамбура (рис. 3.5), кріозаморожене дрібнодисперсне пюре (рис. 3.6.) та нанопорошки сублімаційного сушіння з них (рис. 3.7).

Критеріями оцінки процесів кріомеханодеструкції



Рис. 3.5 - Вихідна сировина (бульби топінамбуру)



Рис. 3.6 - Заморожене дрібнодисперсне пюре з топінамбуру



Рис. 3.7 - Нанопорошок сублімаційного сушіння з топінамбуру



дній сировині і готових добавках, зокрема:

– інуліну, фруктози, загального пектину, протопектину, розчинних пектинових речовин, білку, зв'язаних і вільних амінокислот, гідрофільних і гідрофобних залишків амінокислот, целюлози, органічних кислот та ін.;

– L-аскорбінової кислоти, низькомолекулярних фенольних сполук (оксикоричних кислот), флавонолових глікозидів (по рутину), катехинів (по d-катехіну), дубильних речовин (по таніну).

Крім того, вплив процесів кріомеханодеструкції та кріомеханоактивації контролювали шляхом визначення конформаційних змін молекул білку (зокрема, радіусу, об'єму ядра та оболонки, форми білкових молекул та ін.) та ступеня засвоюваності добавок за допомогою експрес-методу біотестування.

Для виконання поставлених задач використовували, крім загальноприйнятих хімічних [1–7], фізико-хімічних [8], спектроскопічних [9], хроматографічних методів досліджень [9], оригінальні методи досліджень, а саме: метод визначення структури білків та конформаційних змін за Е. Г. Фішером [10, 11] та експрес-метод визначення біологічної активності (або засвоюваності) за Л. Н. Брайнесом [12].

Контрольним зразком слугував свіжий, стиглий, митий топінамбур сорту «Інтерес» та «Скороспілка», вирощений в Харківській області і зібраний восени (у жовтні), що зберігався на овоческладах за температури +2...+4 °С. Середній розмір бульб топінамбуру за найбільшим поперечним діаметром становив 30 мм, а маса – 150 г. (бульби). Експериментальні дослідження проводились з п'ятикратним повторенням. Отримані результати приведені в одиницях міжнародної системи СІ.

Масову частку вільних та зв'язаних амінокислот (замінних та незамінних) контролювали за допомогою хроматографічних методів досліджень (іонообмінна хроматографія) на автоматичному аналізаторі ААА 339 (Мікротехна-Прага-ЧССР) на базі лабораторії оцінки якості кормів та продукції тваринного походження в Інституті тваринництва Національної академії аграрних наук України (м. Харків, Україна).

Метод визначення структури білків та конформаційних змін. Структуру білків вихідної сировини та їх конформаційні зміни при отриманні нанодобавок визначали за допомогою методу, розробленого лауреатом Нобелівської премії Фішером Е. Г. [10, 11]. Метод дозволяє за відомим співвідношенням в білковій молекулі полярних і неполярних залишків амінокислот розрахувати радіус, об'єм і форму білкової молекули, а також радіус її ядра і показник заповнення ядра

гідрофобними залишками. Метод заснований на тому, що всі амінокислотні залишки, які входять до складу поліпептидного ланцюга білкової молекули, можна умовно розділити на дві групи: неполярні (гідрофобні) і полярні (гідрофільні). У воді гнучка молекула білка згортається у глобулу. Мінімальну площу поверхні при заданому об'ємі має куля. Неполярні залишки утворюють всередині білкової частини певну подобу кулястої краплі, а полярні – зосереджуються на її поверхні. Це призводить до утворення компактного тіла – глобули з гідрофобним ядром і гідрофільною оболонкою.

Метод дозволяє за загальним числом амінокислотних залишків в ядрі і відношенням полярних залишків до неполярних, визначити форму молекули. З застосуванням методу в роботі були визначені форми білкових молекул свіжої сировини та нанодобавок із топінамбура. З методикою визначення структури білків та конформаційних змін досліджуваних зразків можна ознайомитись в роботах [10, 11].

Біологічну активність (або засвоюваність) зразків визначали з використанням оригінального експрес-методу Л. Н. Брайнеса. Оцінювання біологічної активності речовин (або продукту) проводили за генеративною активністю (тобто приростом молодих форм) біологічних тест-об'єктів (одноклітинних інфузорій *Paramecium caudatum*), тобто за стимуляцією розмножування [3]. Суть методу контролю біологічної активності (або засвоюваності) різних продуктів та речовин за допомогою інфузорій засновується на посиленні поглинаючої та перетравлювальної здібності найпростіших – інфузорій і активації їх розмноження у випадку, якщо в продукті, що досліджується, містяться речовини, які стимулюють їх ріст і розвиток. В присутності в продукті, що тестується, токсичних або інших шкідливих речовин спостерігається уповільнення розвитку або загибель інфузорій. З методикою визначення біологічної активності досліджуваних зразків можна ознайомитись в роботі [12].

*Вміст інуліну* визначали згідно методичних вказівок біохімічного аналізу. Метод заснований на властивості інуліну гідролізуватися в присутності соляної або щавлевої кислоти з утворенням фруктози, а також здатності інуліну добре розчинятися в гарячій воді та не розчинятися в спирті. Після проведення реакції нейтралізації гідроокисом лугу до слабокислої реакції визначення цукру ведуть за методом Бертрана [2]. Різниця між відсотковим вмістом цукрів, знайдених після гарячої екстракції водою та 82-відсотковим спиртом, буде становити цукор, отриманий з інуліну.

*Масову частку пектинових речовин* (загальних, розчинних та протопектину) вимірювали стандартним ваговим кальційпектатним методом (ГОСТ 8756.11-70), який заснований на визначенні вмісту пектинової кислоти за масою пектату кальцію, що утворився при взаємодії хлористого кальцію з пектиноювою кислотою [7].

*Масову частку целюлози* визначали стандартним методом, що заснований на утворенні фурфуролу з пентозанів при обробці целюлози розчином з масовою часткою соляної кислоти 13% при нагріванні і визначенні відігнаного фурфуролу спектрофотометричним методом (ГОСТ 10820-75) [3].

*Вміст вітаміну С* визначали йодометричним методом, що заснований на окисно-відновлювальній реакції, яка відбувається між аскорбіноювою кислотою та індикатором 2,6 – дихлорфеноліндофенолом (фарба Тільманса) (ГОСТ 24556-89) [4].

*Вміст фенольних речовин* визначали колориметричним методом Фоліна-Деніса в перерахунку за хлорогеновою кислотою (ГОСТ 4373:2005). Метод заснований на утворенні блакитних комплексів при відновленні вольфрамової кислоти під дією поліфенолів з реагентом Фоліна-Деніса в лужному середовищі [5].

*Вміст поліфенолів (дубильних речовин)* визначали титрометричним методом за таніном (ГОСТ 24027.2-80). Метод заснований на властивості дубильних речовин окислюватися в присутності індикатора індигокарміну [6].

*Вміст флавонолових глікозидів* визначали методом Муррі за реакцією з 2%-вим  $AlCl_3$  з подальшим розрахунком їх масової частки за рутином [7].

*Масову частку титрованих (органічних) кислот* визначали методом об'ємного титрування (ГОСТ 25555.0-82). Метод засновано на нейтралізації витяжок кислот дослідного зразка розчином лугу до появи рожевого забарвлення, що свідчить про закінчення реакції [8].

При розробці кріогенного методу обробки топінамбуру і отриманні із нього кріозамороженого пюре та нанопорошків з використанням кріогенного «шокового» заморожування та дрібнодисперсного подрібнення важливим було збільшити ступінь вилучення із сировини прихованих зв'язаних форм БАР з біополімерами у вільний стан. Крім того, необхідно було частково трансформувати важкорозчинні полісахариди, олігосахариди та білки в розчинну форму. Це виявляється можливим за рахунок кріомеханодеструкції і кріомеханоактивації, а також механолізу. Важливим також було розкрити механізми перерахованих

процесів та засвоюваність живими організмами.

### 3.1. Вивчення комплексу пребіотичних речовин та біологічно активних фітокомпонентів бульб топінамбура – сировини для отримання заморожених та порошкоподібних дрібнодисперсних добавок

В завдання роботи входило вивчення комплексу пребіотичних речовин (інуліну, пектину, целюлози, білку) та біологічно активних фітокомпонентів (фенольних сполук, дубильних речовин, L-аскорбінової кислоти тощо) бульб топінамбура – сировини для отримання кріозаморожених та порошкоподібних дрібнодисперсних добавок. Отримані результати були використані в подальших дослідженнях як контрольні.

Вивчено якість бульб топінамбура 2-х сортів: ранньостиглого «Скороспілка» та пізньостиглого «Інтерес». Показано, що бульби топінамбура є джерелом комплексу неперетравлювальних компонентів їжі – пребіотичних речовин, склад яких представлений переважно інуліном, а також целюлозою, пектиновими речовинами, білком, загальна масова частка яких становить, залежно від сорту, 60...65% сухих речовин продукту, та джерелом біологічно активних фітокомпонентів (фенольних сполук, дубильних речовин, L-аскорбінової кислоти тощо). Результати досліджень представлені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Вміст пребіотичних речовин та біологічно активних фітокомпонентів в свіжому топінамбурі – сировині для отримання дрібнодисперсних кріодобавок

Найменування показника	Свіжий топінамбур	
	сорту «Інтерес»	сорту «Скороспілка»
Сухі речовини, %	28,2±1,20	24,5±1,20
Білок, %	1,2±0,05	1,0±0,05
Загальний цукор, %	4,4±0,10	4,3±0,10
Інулін, %	12,8±0,50	9,8±0,50
Фруктоза, %	0	0
Загальний пектин, %	1,9±0,10	1,8±0,10
Протопектин, %	0,7±0,05	0,5±0,05
Розчинний пектин, %	1,2±0,10	0,7±0,10
Целюлоза, %	2,0±0,10	1,9±0,20
L-аскорбінова кислота, мг в 100 г	10,3±0,10	9,6±0,50
Фенольні сполуки (за хлорогеновою кислотою), мг в 100 г	350,0±5,70	340,0±5,50

Флавонолові глікозиди (за рутином), мг в 100 г	240,0±4,80	225,5±4,60
Дубильні речовини, мг в 100 г	300,0±6,40	280,7±6,50
Органічні кислоти, %	0,40±0,01	0,35±0,01
Зольність, %	1,6±0,02	1,3±0,02

Встановлено, що бульби топінамбура містять в своєму складі значну кількість пребіотичних речовин: інуліну (9,8...12,8%), пектину (1,8...1,9%), целюлози (1,9...2,0%) та відрізняються високим вмістом біологічно активних фітокомпонентів, масова частка яких в 100 г топінамбура становить: фенольних сполук – 340,0...350,0 мг, дубильних речовин – 280,7...300,0 мг, L-аскорбінової кислоти – 9,6...10,3 мг та 1,3...1,6% мінеральних речовин.

Показано, що якість бульб топінамбура пізньостиглого сорту «Інтерес» за вмістом пребіотичних речовин та біологічно активних фітокомпонентів перевищує якість ранньостиглого сорту «Скороспілка». Тому як сировину для отримання нових видів добавок із топінамбура використовували сорт «Інтерес».

### **3.2 Вивчення впливу способу заморожування (традиційного, кріогенного «шокового») та дрібнодисперсного подрібнення на активність окиснювальних ферментів під час переробки топінамбура**

Як відомо, одним з важливих факторів, що позначаються на ступені збереження якості вихідної сировини під час її переробки, є активність окиснювальних ферментів (пероксидази та поліфенолоксидази). Традиційно в промисловості з метою їх інактивації використовують бланшування гострою парою, короткочасне занурення в киплячу рідину, витримування в сольовому або кислотному розчині, ультрафіолетове опромінювання, пастеризацію, стерилізацію тощо. Проте, зазначені способи пов'язані з впливом тепла і призводять до значних втрат (20...80%) аскорбінової кислоти та інших біологічно активних фітокомпонентів. Слід зазначити, що при переробці топінамбура в пюре, сиропи, порошки, внаслідок дії окиснювальних ферментів відбувається також утворення темно забарвлених речовин, що призводить до потемніння та суттєвого погіршення зовнішнього виду готового продукту. Тому, актуальним є пошук таких технологічних прийомів, які дозволяють інактивувати потужну окиснювальну систему топінамбура.

На сьогоднішній день найбільш ефективними способами переробки рослинної сировини, які забезпечують високе збереження якості вихідної сировини за вмістом біологічно активних фітокомпонентів, вважаються криогенне «шокове» заморожування (за допомогою рідкого або газоподібного азоту) та низькотемпературне дрібнодисперсне подрібнення.

Тому в представленій роботі проблему інактивації ферментів при переробці топінамбура в дрібнодисперсній добавці запропоновано вирішити шляхом використання зазначених ефективних способів переробки рослинної сировини – криогенного «шокового» заморожування за допомогою рідкого азоту та дрібнодисперсного подрібнення.

З метою визначення оптимальних режимів, необхідних для максимального зниження ферментативної активності топінамбура під час отримання з нього дрібнодисперсних добавок, в роботі потрібно було дослідити вплив різних швидкостей, різної кінцевої температури заморожування в продукті (мінус 18 °С та мінус 40 °С) та дрібнодисперсного подрібнення на активність окиснювальних ферментів сировини – пероксидази та поліфенолоксидази.

Вивчено вплив заморожування до температури всередині продукту мінус 18 °С традиційним способом в морозильній камері та криогенним способом із застосуванням рідкого азоту на активність окиснювальних ферментів топінамбура та визначено умови заморожування, при яких відбувається інактивація окиснювальних ферментів. Криогенне «шокове» заморожування здійснювали в програмному заморожувачі за допомогою рідкого азоту зі швидкістю заморожування від 1 до 10 °С/хв до кінцевої температури всередині продукту в діапазоні від мінус 18 °С до мінус 40 °С при температурі в камері при мінус 60 °С. Швидкість заморожування регулювали шляхом зміни інтенсивності подачі рідкого азоту до морозильної камери, а також регулюванням температури в камері та товщини нарізання дослідного зразка. Кількість рідкого азоту на 1 кг продукту складала від 1,0 кг до 1,5 кг, в залежності від товщини шару та кінцевої температури в продукті.

Модельними дослідженнями встановлено, що заморожування до температури мінус 18 °С в морозильній камері та криогенним способом із застосуванням рідкого азоту до мінус 35 °С призводить до збільшення у порівнянні зі свіжою сировиною активності окиснювальних ферментів топінамбура в 1,3...1,4 рази (рис. 3.8).

Показано, що дрібнодисперсне подрібнення замороженого до температури мінус 18 °С топінамбура призводить до ще більшої, в порівнянні з традиційним заморожуванням, активації окиснювальних ферментів під час отеплення (табл. 3.2 та рис. 3.8). Так, у порівнянні з вихідною сировиною (до заморожування), ферментативна активність подрібненого замороженого пюре топінамбура після отеплення збільшується: пероксидази – в 3,9 рази; поліфенолоксодази – в 4,2 рази, тобто відбувається значна активація окиснювальних ферментів.

Таблиця 3.2

Вплив швидкості, кінцевої температури заморожування і дрібнодисперсного подрібнення на активність окиснювальних ферментів топінамбура при криогенному «шоковому» заморожуванні

Бульби топінамбура	активність			
	пероксидази		поліфенолоксодази	
	мл 0,01 N йоду до СР	% до вихід.	мл 0,01 N йоду до СР	% до вихід.
нарізані на шматочки (вихідна сировина)	350,0	100,0	56,0	100,0
нарізані на шматочки, традиційно заморожені у морозильній камері при – 32 °С до –18 °С всередині продукту	490,0	140,0	72,0	128,6
нарізані на шматочки, традиційно заморожені у морозильній камері до –18 °С та дрібнодисперсно подрібнені	1365,0	390,0	233,4	416,8
нарізані на шматочки, заморожені (з використанням рідкого азоту) до –35 °С з високою швидкістю 5 °С/хв	0	0	0	0
нарізані на шматочки, заморожені (з використанням рідкого азоту) до –35 °С з високою швидкістю 5 °С/хв та дрібнодисперсно подрібнені	0	0	0	0

Встановлено, що застосування криогенного «шокового» заморожування топінамбура з використанням рідкого азоту зі швидкістю, починаючи від 5 °С/хв, до кінцевої температури всередині продукту в діапазоні від мінус 32 °С до мінус 35 °С призводить до повної інактивації окислювальних ферментів пероксидази і поліфенолоксодази, активність яких не відновлюється протягом години після отеплення (табл. 3.2 та рис. 3.8). Це пов'язано з суттєвою криодеструкцією та незворотною денатурацією білкових молекул ферментів та їх активних центрів.

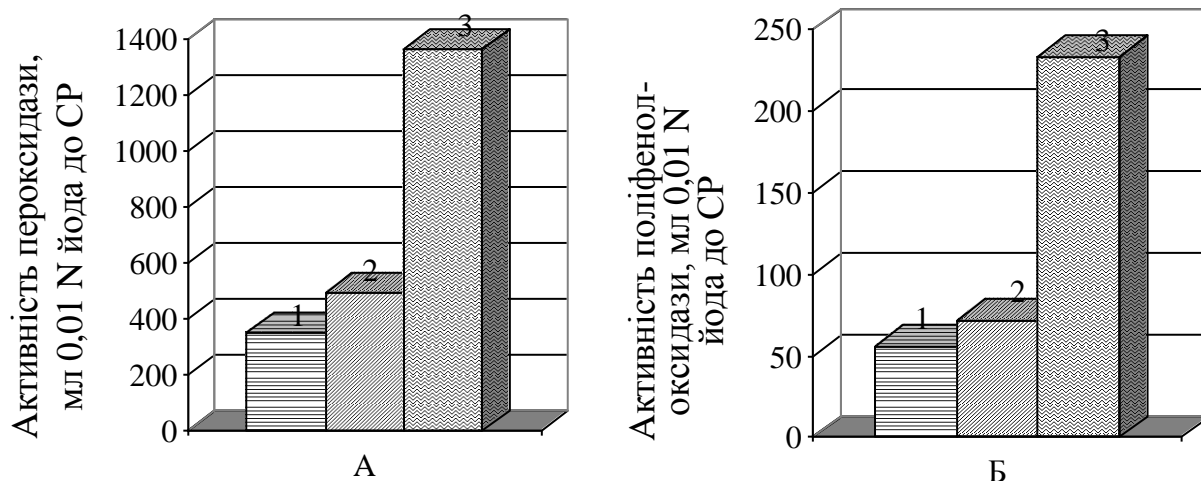


Рис. 3.8 – Вплив традиційного заморожування в морозильній камері (при  $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) до  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  та дрібнодисперсного подрібнення на активність окислювальних ферментів пероксидази (А) та поліфенолоксидази (Б) топінамбура, де: 1 – бульби топінамбура (свіжі), 2, 3 – нарізані на шматочки бульби топінамбура традиційно заморожені (2) та дрібнодисперсно подрібнені (3)

Крім того, встановлено, що на відміну від традиційного, при «шоковому» заморожуванні топінамбура не відбуваються втрати клітинного соку. Механізм процесу пов'язаний з тим, що при «шоковому» заморожуванні відбувається також інактивація гідролітичних ферментів (целюлази, пектинази, протеази та інших), дія яких призводить до гідролізу біополімерів оболонок клітин до окремих складових, які переходять в розчинну форму. Їх інактивація впливає на втрати клітинного соку при розморожуванні.

Показано, що застосування криогенного «шокового» заморожування до температури всередині продукту в діапазоні від мінус 32 до мінус 35  $^{\circ}\text{C}$  та нижче призводить до повної інактивації ферментів, активність яких не відновлюється при подальшому дрібнодисперсному подрібненні та зберіганні та перешкоджає потемнінню продукту (табл. 3.2). Механізм процесу пов'язаний зі значною криодеструкцією та механодеструкцією білкових молекул ферментів та їх активних центрів та незворотньою денатурацією ферментів.

Отримані дані були враховані при розробці технології криозаморожених та порошкоподібних дрібнодисперсних добавок із бульб топінамбура.



### 3.3 Вивчення впливу процесів кріомеханодеструкції при кріогенному «шоковому» заморожуванні та дрібнодисперсному подрібненні на деструкцію біополімерів інуліну, целюлози та пектинових речовин топінамбура

В розділі наведені результати наукових досліджень вивчення кріомеханохімічних процесів впливу кріомеханодеструкції та механоактивації під час кріогенного «шокового» заморожування та дрібнодисперсного подрібнення на процеси кріомеханохімії біополімерів інуліну, пектинових речовин, целюлози, їх деструкцію та ступінь трансформації у вільну форму у вигляді мономерів при отриманні дрібнодисперсних добавок із топінамбура.

Встановлено, що при кріогенному «шоковому» заморожуванні з використанням високих швидкостей заморожування ( $10^{\circ}\text{C}/\text{хв}$ ,  $20^{\circ}\text{C}/\text{хв}$ ) до кінцевої температури в продукті ( $-32^{\circ}\text{C}$ ;  $-35^{\circ}\text{C}$ ) та при дрібнодисперсному низькотемпературному подрібненні топінамбура значна частина інуліну (50...55%) трансформується в розчинну вільну фруктозу та фруктозани за рахунок неферментативного, некислотного руйнування  $\beta$ -фруктозних зв'язків в інуліні (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Вплив кріогенного «шокового» заморожування та дрібнодисперсного подрібнення топінамбура на трансформацію біополімерів (інуліну та целюлози) при отриманні кріозаморожених дрібнодисперсних добавок із топінамбура

Найменування показника	Топінамбур свіжий		Заморожена дрібнодисперсна добавка із топінамбура	
	%	% до СР	%	% до СР
Інулін	$12,8 \pm 0,5$	$45,4 \pm 2,5$	$6,7 \pm 0,1$	$23,7 \pm 0,3$
Фруктоза	–	–	$4,8 \pm 0,2$	$17,0 \pm 0,2$
Целюлоза	$2,0 \pm 0,1$	$7,1 \pm 0,4$	$0,8 \pm 0,1$	$2,8 \pm 0,1$
Загальний цукор	$4,3 \pm 0,1$	$15,2 \pm 0,4$	$10,4 \pm 0,2$	$36,9 \pm 0,2$

Цей процес відбувається за рахунок кріообробки та механічного руйнування – механокрекінгу. Так, наприклад, у вихідній сировині – топінамбурі міститься 12,8% інуліну, а після низькотемпературної обробки в пюре залишається 45-50% інуліну, а решта його – трансформується у вільну фруктозу (рис. 3.9). Виявлено також, що одночасно відбувається деградація і деструкція целюлози: 43-55% її трансформується до мономерів – глюкози.

Вивчено також вплив процесів криомеханодеструкції (криогенного заморожування та дрібнодисперсного подрібнення) на активацію, вилучення і трансформацію пектинових речовин топінамбура із неактивної, прихованої форми у розчинну, активну форму, тобто більш повне екстрагування зв'язаних форм пектинових речовин із асоціатів і їх нанокмплексів з біополімерами у вільну, активну форму. Слід зазначити, що в рослинній сировині, в тому числі в топінамбурі, пектинові речовини знаходяться в неактивній формі. В зв'язку з цим, мають низькі желуючі та адсорбційні властивості.

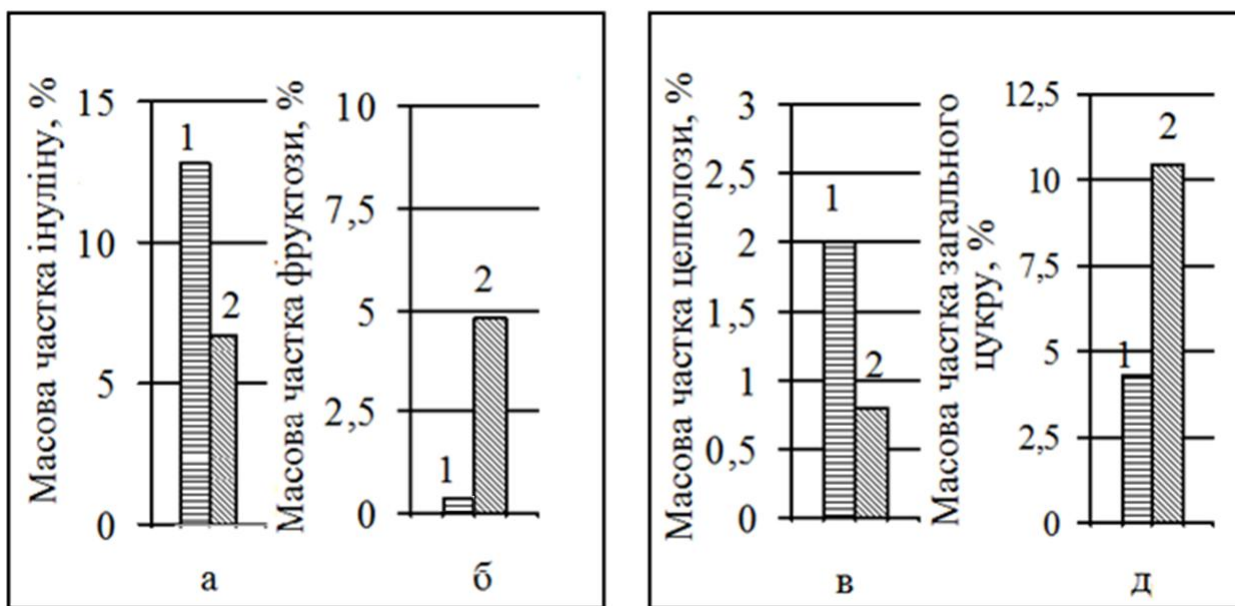


Рис. 3.9 – Вплив криогенного «шокового» заморожування та дрібнодисперсного подрібнення топінамбура на полісахариди та їх трансформацію до окремих складових: а – інулін; б – фруктозу; в – целюлозу; д – загальні цукри, де: 1 – топінамбур свіжий, 2 – криозаморожена дрібнодисперсна добавка

Це пов'язано з тим, що більшість карбоксильних груп полісахаридного ланцюга пектину в рослинній сировині вже зв'язані або з іонами металів (більш всього з Mg та Ca), або з залишками метилового і етилового спиртів. Крім того, доступ до карбоксильних груп, зв'язаних з іншими біополімерами пектинів, перешкоджають інші полімери, зокрема арабани і галактани, мономерні молекули полісахаридів та ін.

У зв'язку з цим, значний теоретичний та практичний інтерес представляє розробка технологій добавок, із топінамбура, з активацією пектинових речовин і отримання харчових добавок з підвищеними же-

люючими властивостями та сорбційними здібностями, що дозволить більш повно використати нативні властивості всього вуглеводного комплексу сировини як структуроутворювачів та детоксикантів.

В роботі встановлено, що при високих (10–20 °С/хв.) та повільних швидкостях криозаморожування (1 °С/хв.) до різних кінцевих температур в продукті (від мінус 18 °С до мінус 35 °С) та при подальшому дрібнодисперсному подрібненні (з використанням процесів кріомеханодеструкції і кріомеханоактивації) топінамбура відбувається більш повне вилучення пектину із зв'язаного з іншими біополімерами у наноконкомплексах стану у вільну активну розчинну форму (табл. 3.4, рис. 3.10). Так, показано, що при криогенній обробці топінамбура (за рахунок процесів кріомеханодеструкції та кріомеханоактивації) відбувається більш повне вилучення в 3,0...3,5 рази загальної кількості пектинових речовин із зв'язаного з іншими біополімерами стану у вільний (рис. 3.10).

Таблиця 3.4

Вплив криогенного «шокового» заморожування та дрібнодисперсного подрібнення топінамбура на активацію важкорозчинних наноконкомплексів пектинових речовин і їх трансформацію із неактивної форми в активну розчинну форму

Найменування показника	Свіжий топінамбур	Заморожені шматочки топінамбура	Заморожена дрібнодисперсна добавка з топінамбура
Пектинові речовини, %	1,9±0,01	2,7±0,02	5,7±0,1
Протопектин, %	0,7±0,01	1,1±0,01	1,8±0,02
Розчинний пектин, %	1,2±0,01	1,6±0,01	3,9±0,3
Органічні кислоти, %	0,4±0,01	0,6±0,01	1,0±0,01

При цьому відбувається значна трансформація протопектину в розчинний пектин і в кінцевому продукті (замороженому пюре) масова частка розчинного пектину становить 50...70% від загальної кількості пектинових речовин. Встановлено, що в отриманих заморожених дрібнодисперсних добавках із топінамбура 70% пектинових речовин знаходяться в розчинній формі. Таким чином, вперше зроблено відкриття, що відбувається деградація та кріодеструкція протопектину і трансформація його з неактивної в наноконкомплексах із іншими біополімерами та мінеральними речовинами форми в активну розчинну форму.

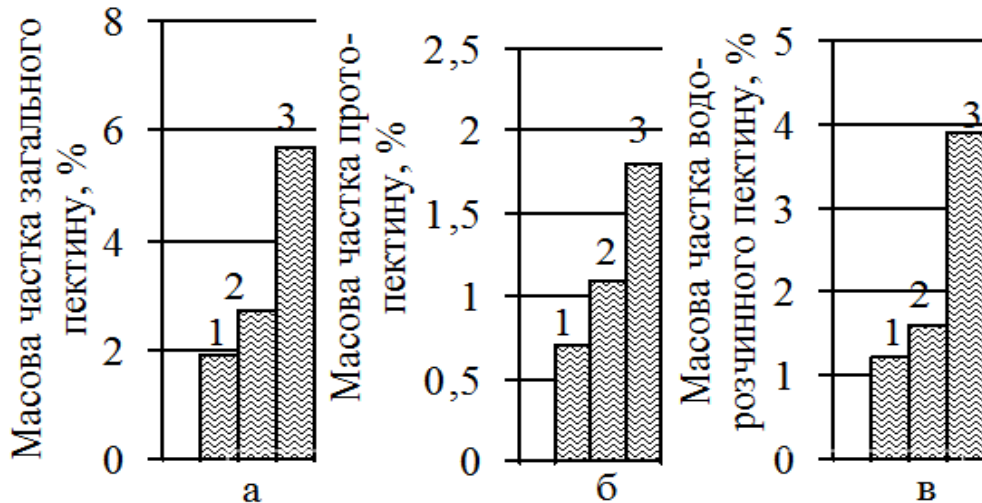


Рис. 3.10 – Вплив криогенного «шокового» заморожування та дрібнодисперсного подрібнення на пектинові речовини топінамбура, де: а – загальний пектин; б – протопектин; в – розчинний пектин; 1, 2, 3 – топінамбур (свіжий); заморожені шматочки (2), заморожена дрібнодисперсна добавка (3)

Таким чином, в результаті експериментів встановлено, що використання криогенного «шокового» заморожування та дрібнодисперсного подрібнення, що супроводжуються процесами криомеханодеструкції, криомеханоактивації та криомеханохімії, призводить до значного вилучення пектинових речовин з неактивної форми в активну. Тобто відбувається трансформація пектину із зв'язаного стану в наноконформах з іншими біополімерами у вільну розчинну форму (в 3,0...3,5 рази більше, ніж у вихідній сировині) та трансформації (або руйнування протопектину) в розчинну форму (в 3,0...3,3 рази більше, ніж у вихідній сировині). Механізм більш повного вилучення пектинових речовин із наноконформах і наноасоціатів рослинної сировини та деструкції пектинів до окремих мономерів – галактуронової кислоти пов'язаний з їх криомеханодеструкцією та криомеханокрекінгом (руйнуванням зв'язків) та неферментативним біокаталізом – криомеханолізмом.

Отримані дані дозволяють по-новому уявити процес активації і більш повного вилучення пектинових речовин із неактивної прихованої форми в розчинну, легкозасвоювану форму, що дає можливість більш повного використання закладеного у рослинній сировині біологічного потенціалу та сприяє наданню добавкам таких технологічних властивостей як гелеутворення та стабілізація текстури.

### **3.4 Вплив кріомеханодеструкції під час кріогенного «шокового» заморожування та дрібнодисперсного подрібнення на конформаційні зміни молекул білка при отриманні дрібнодисперсних добавок із топінамбура**

В даному розділі представлені результати вивчення впливу процесів кріомеханодеструкції та механоактивації під час кріогенного «шокового» заморожування та дрібнодисперсного подрібнення на конформаційні зміни молекул білку при отриманні дрібнодисперсних добавок із топінамбура, їх деструкцію та трансформацію амінокислот із зв'язаного стану у вільний.

Встановлено, що в порівнянні з вихідною свіжою сировиною, при дрібнодисперсному подрібненні замороженої інуліновмісної сировини відбувається значна дезагрегація, деструкція та механоліз молекул білку, який проявляється у зменшенні на 45...55% масової частки амінокислот білку, що знаходяться у зв'язаному стані та їх трансформація у вільний стан (табл. 3.5).

Показано, що масова частка білку в свіжому топінамбурі становить 1,24 г в 100 г, із них вільних амінокислот – 0,41 г в 100 г, а в кріопюре масова частка амінокислот становить 0,8 г в 100 г продукту.

Так, у вихідній сировині (свіжому топінамбурі) масова частка амінокислот білку, що знаходяться у зв'язаному стані, становить 829,4 мг в 100 г, у вільному – 412,0 мг в 100 г. При отриманні замороженої дрібнодисперсної добавки відбувається збільшення масової частки амінокислот на 45–55%, що знаходяться у вільному стані, за рахунок зменшення кількості амінокислот у зв'язаному стані в білковій молекулі. При цьому сумарний вміст амінокислот, що знаходяться у зв'язаному та у вільному стані, в вихідній сировині та в замороженій добавці із топінамбура залишається незмінним (1241,4 мг в 100 г). Це свідчить про трансформацію амінокислот із зв'язаного в білковій молекулі стану у вільний (табл. 3.5).

Аналогічні результати були отримані для порошкоподібних добавок із топінамбура (рис. 3.11).

У зв'язку з тим, що в роботі встановлено, що комплексна дія заморожування та дрібнодисперсного подрібнення призводить до руйнування біополімерів білка до окремих мономерів, можна було припустити, що зазначені технологічні прийоми також викликають конформаційні зміни молекул білка, їх стирання, зміни об'єму, форми, зменшення молекулярної маси.

Таблиця 3.5

Вплив процесів кріомеханодеструкції при кріогенному «шоковому» заморожуванні та дрібнодисперсному подрібненні на руйнування білку до окремих вільних амінокислот бульб топінамбура (n=3, p≥0,95)

Аміно-кислота	Масова частка амінокислот							
	у зв'язаному стані				у вільному стані			
	вихідна сировина (свіжий топінамбур), мг в 100 г	заморожена дрібнодисперсна добавка з топінамбура, мг в 100 г	% до вихідної сировини	зменшення до вихідної сировини, разів	вихідна сировина (свіжий топінамбур), мг в 100 г	заморожена дрібнодисперсна добавка з топінамбура, мг в 100 г	% до вихідної сировини	збільшення до вихідної сировини, разів
Аспарагінова кислота	44,3	24,2	54,6	1,8	22,5	42,6	189,3	1,9
Аланін	45,0	23,9	53,1	1,9	21,9	43,0	196,3	1,9
Глутамінова кислота	53,2	29,7	55,8	1,8	21,2	44,7	210,8	2,1
Аргінін	49,4	27,9	56,4	1,8	20,7	42,2	203,8	2,0
Треонін	37,5	20,6	54,9	1,8	17,9	34,8	194,4	1,9
Цистін	36,7	19,5	53,1	1,9	20,1	37,3	185,6	1,8
Серін	45,5	22,7	49,8	2,0	20,0	42,8	214,0	2,1
Гліцин	34,3	18,2	53,0	1,9	17,4	33,5	192,5	1,9
Лізін	48,2	28,6	59,3	1,7	26,7	46,3	173,4	1,7
Метіонін	55,2	24,9	45,1	2,2	23,9	54,2	226,7	2,3
Триптофан	52,0	28,4	54,5	1,8	28,7	52,3	182,2	1,8
Валін	47,5	27,2	57,3	1,7	26,6	46,9	176,3	1,8
Фенілаланін	52,4	28,0	53,4	1,9	28,4	52,8	185,9	1,9
Ізолейцин	50,3	27,9	55,5	1,8	27,7	50,1	180,9	1,8
Лейцин	51,1	24,8	48,5	2,1	24,5	50,8	207,3	2,1
Тирозин	40,2	18,9	47,0	2,1	19,3	40,6	210,4	2,1
Пролін	41,3	20,7	50,1	1,9	22,8	43,4	190,4	1,9
Гістидин	45,3	23,7	52,3	1,9	21,7	43,3	199,5	2,0
Сума:	829,4	439,8	52,9	1,8	412,0	801,6	199,5	1,9

Відомо, що молекула білку складається із гідрофобного ядра та гідрофільної оболонки і форма молекули залежить від співвідношення гідрофільних та гідрофобних залишків амінокислот. При дрібнодисперсному подрібненні паралельно із зменшенням масової частки зв'язаних амінокислот в біополімерах білка можуть відбуватися конформаційні зміни, пов'язані з перерозподілом співвідношення гідрофільних та гідрофобних залишків амінокислот. Це може призвести не

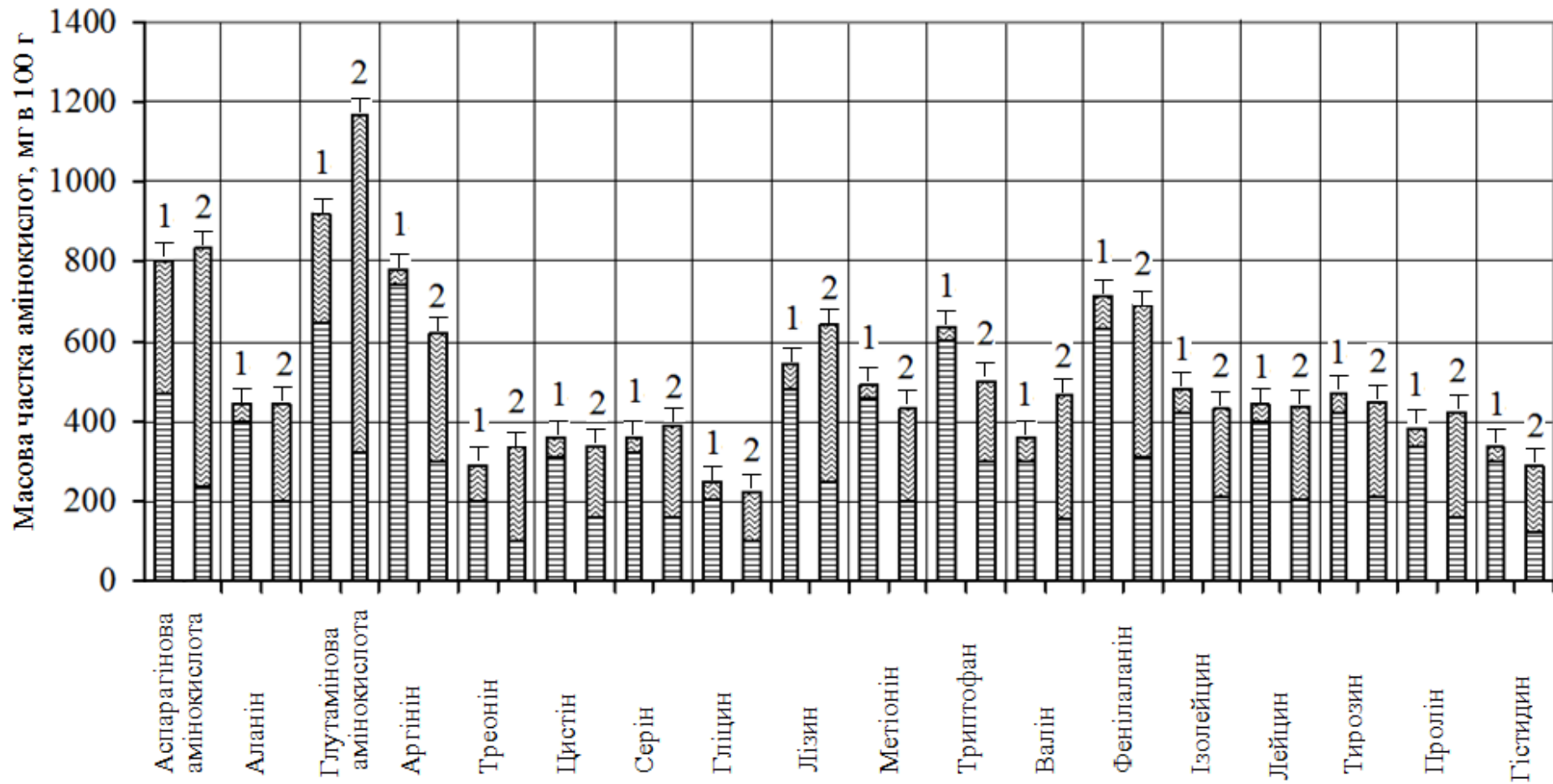


Рис. 3.11 – Вплив процесів кріодеструкції та механоактивації під час кріогенного «шокового» заморожування та дрібнодисперсного подрібнення на трансформацію зв'язаних амінокислот білку у вільну форму при отриманні порошкоподібних дрібнодисперсних добавок із топінамбура: 1 – вихідний висушений топінамбур; 2 – порошкоподібна дрібнодисперсна добавка із топінамбура

тільки до змін об'єму, але і форми білкової молекули, в залежності від того, які з амінокислотних залишків (гідрофільні чи гідрофобні) в більшій частині залишились у зв'язаному стані. У зв'язку з цим, в роботі вивчено вплив дрібнодисперсного подрібнення на масову частку та співвідношення полярних (гідрофільних) і неполярних (гідрофобних) залишків амінокислот біополімерів, а також конформаційні зміни молекул білків висушеного топінамбура та дрібнодисперсних порошків із нього.

Виявити конформаційні зміни молекул білка при отриманні дрібнодисперсних добавок із топінамбура дозволяє метод Е. Г. Фішера. Для цього необхідно визначити масову частку зв'язаних і вільних амінокислот у вихідній сировині – топінамбурі та в дрібнодисперсних порошкоподібних добавках. Потім масову частку амінокислот, що знаходяться у зв'язаному стані, необхідно перерахувати на 100 г білку, одночасно провести розподіл амінокислот на гідрофобні та гідрофільні залишки, визначити їх суми та співвідношення між сумою гідрофільних залишків амінокислот та гідрофобних. Крім того, за відомими коефіцієнтами розрахувати ступінь гідрофобності та гідрофільності зв'язаних амінокислот білка.

Як було показано, при кріодеструкції та механоактивації відбувається руйнування молекул білка (на 45...55%) до окремих амінокислот, тобто відбувається часткове руйнування молекул білку і трансформація зв'язаних амінокислот у вільну, легкозасвоювану форму (табл. 3.5). Паралельно виявлено, що гідрофільні та гідрофобні властивості висушеного, вихідного топінамбура і дрібнодисперсних добавок із нього значно відрізняються. Так, наприклад, масова частка гідрофільних залишків амінокислот дрібнодисперсних добавок з топінамбура на 12,6% більше, ніж вихідного висушеного топінамбура. Відповідно масова частка гідрофільних залишків амінокислот 100 г білка дрібнодисперсної добавки становить 45,25, а в сировині – 36,15 г (табл. 3.6).

Паралельно зменшується масова частка гідрофобних залишків в дрібнодисперсному порошку (на 8,6%). Відповідно масова частка гідрофобних залишків амінокислот в 100 г білку дрібнодисперсного порошку становить 54,75 г, у вихідній сировині – 63,85 г. При цьому, ступінь гідрофобності зв'язаних амінокислот білка ( $\Delta F$ , кДж/моль) дрібнодисперсної добавки з топінамбура зменшувалася на 10%.



Таблиця 3.6

Вплив кріомеханодеструкції та механоактивації на руйнування молекул білка і трансформацію зв'язаних амінокислот у вільні при отриманні порошкодібних дрібнодисперсних добавок із топінамбура

Амінокислота	Масова частка амінокислот білка, %		ΔF, кДж/моль	Ступінь гідрофобності зв'язаних амінокислот білку (ΔF, кДж/моль)	
	висушеного топінамбура	дрібнодисперсної порошкодібної добавки з топінамбура		висушеного топінамбура	дрібнодисперсної порошкодібної добавки з топінамбура
Гідрофільні залишки амінокислот					
Аспарагінова кислота	8,85	11,99	2,26	20,09	27,09
Аланін	3,39	4,13	3,05	10,34	12,59
Глутамінова кислота	10,28	13,22	2,50	25,70	33,05
Аргінін	6,39	7,84	3,05	19,48	23,91
Треонін	2,02	2,37	1,84	3,72	4,36
Цистін	1,10	1,15	2,71	2,98	3,12
Серін	2,10	2,54	0,17	0,36	0,43
Гліцин	2,02	2,01	0,0	0,00	0,00
Сума:	36,15	45,25	–	82,67	104,55
Гідрофобні залишки амінокислот					
Лізин	8,68	9,14	6,27	54,23	57,37
Метіонін	4,78	5,09	5,45	25,94	27,80
Триптофан	0,89	1,20	12,50	10,88	15,13
Валін	3,77	3,94	7,06	26,51	27,88
Фенілаланін	6,36	7,04	11,10	70,37	78,26
Ізолейцин	8,33	5,72	12,40	102,92	71,05
Лейцин	7,50	5,70	10,10	75,45	57,67
Тирозин	9,39	6,14	12,00	112,44	73,80
Пролін	2,52	2,79	10,85	27,13	30,49
Гістидин	11,63	7,99	5,85	67,86	46,80
Сума:	63,85	54,75	–	573,73	486,25
Гідрофільні і гідрофобні залишки амінокислот					
Сума:	100,0	100,0	–	656,40	590,80
Співвідношення суми гідрофільних та гідрофобних залишків амінокислот	0,57	0,83	–	–	–

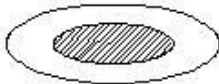
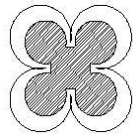
Показано також, що після дрібнодисперсного подрібнення співвідношення суми полярних до суми неполярних залишків в білкових молекулах дрібнодисперсної добавки з топінамбура в порівнянні з вихідною сировиною збільшується з 0,57 до 0,83 (табл. 3.6).

Це свідчить про збільшення площі поверхні гідрофільної оболонки білкової молекули і про паралельне зменшення заповнення ядра молекули гідрофобними залишками. Використовуючи отримане співвідношення в молекулі білка полярних та неполярних залишків амінокислот, відповідно до методу Е. Г. Фішера було розраховано радіус, об'єм і форму білкової молекули, а також радіус її ядра та показник заповнення ядра гідрофобними залишками.

Встановлено, що комплексна дія на рослинну сировину (топінамбур) кріогенного «шокового» заморожування та дрібнодисперсного подрібнення, призводить до зменшення радіусу, об'єму білкової молекули, радіусу і показника заповнення ядра гідрофобними залишками (табл. 3.7). Встановлено, що при цьому відбувається зміна форми білкових молекул вихідної сировини. Так, наприклад, радіус білкової молекули дрібнодисперсної порошкоподібної добавки з топінамбура на 30 % менше радіусу молекули білка вихідної сировини (топінамбура, нарізаного на пластини, кріогенно «шоково» замороженого та висушеного сублімаційним методом), і становить  $0,2304 \times 10^{-2}$  мкм (в порівнянні з  $0,3275 \times 10^{-2}$  у вихідній сировині), а її об'єм – в 1,7 разів менше і становить  $0,074 \times 10^{-6}$  мкм<sup>3</sup> в порівнянні з  $0,012 \times 10^{-5}$  мкм<sup>3</sup> у вихідній сировині. Радіус ядра молекули зменшується в 1,5 рази і в 5,7 разу – показник заповнення ядра гідрофобними залишками (табл. 3.7). Отримані дані дозволили встановити відповідно до методу Е.Г. Фішера форму білкової молекули вихідної сировини та дрібнодисперсної порошкоподібної добавки. Показано, що білкові молекули висушеного топінамбура мають форму витягнутих еліпсоїдів (табл. 3.7), а при отриманні дрібнодисперсних добавок набувають вигляду надмолекулярних структур. Це свідчить про те, що при отриманні дрібнодисперсних порошкоподібних добавок із інуліновмісної сировини (топінамбура) сумарна площа поверхні білкових молекул, які мають форму надмолекулярних структур, значно більша за площу поверхні білкових молекул вихідної (висушеної) сировини у формі витягнутих еліпсоїдів. Це сприяє більшій доступності для засвоювання організмом людини, значно більшому розчиненню білків та підвищенню здатності до гелеутворення. Отримані результати дозволяють по-новому уявити

Таблиця 3.7

Вплив комплексної дії криогенного «шокового» заморожування та дрібнодисперсного подрібнення на конформаційні зміни білкових молекул при отриманні дрібнодисперсних добавок із топінамбура

Показники	Топінамбур	
	вихідний висушений топінамбур	дрібнодисперсна порошкоподібна добавка з топінамбура
Вміст полярних залишків амінокислот, $C_p$	36,15	45,25
Вміст неполярних залишків амінокислот, $C_{np}$	63,85	54,75
Співвідношення $C_p / C_{np}$	0,57	0,83
Радіус глобули, $r_o$ , мкм	$0,2705 \cdot 10^{-2}$	$0,1816 \cdot 10^{-2}$
Радіус ядра глобули, $r$ , мкм	$0,3275 \cdot 10^{-2}$	$0,2304 \cdot 10^{-2}$
Об'єм глобули, $V$ , мкм <sup>3</sup>	$0,012 \cdot 10^{-5}$	$0,074 \cdot 10^{-6}$
Показник заповнення ядра молекули гідрофобними залишками ( $b$ ), за графіком	1,48	0,26
Форма білкової молекули	 <p>втягнутий еліпсоїд (<math>b \gg b_s</math>)</p>	 <p>надмолекулярні структури (<math>b &lt; b_s</math>)</p>

вплив глибокої переробки, а саме процесів криодеструкції, механоактивації та криомеханохімії, що виникають під час криогенного «шокового» заморожування та дрібнодисперсного подрібнення на перетворення і трансформацію в розчинну наноформу біополімерів рослинної сировини.

### 3.5 Вивчення впливу процесів криомеханодеструкції та криомеханохімії на збереження та трансформацію низькомолекулярних біологічно активних фітокомпонентів топінамбура

Головним при розробці технології рослинних добавок із топінамбура з використанням криогенного «шокового» заморожування та дрібнодисперсного подрібнення було не тільки частково трансформувати важкорозчинні біополімери – пребіотичні речовини (інулін, пектинові

речовини, целюлозу, білок) в розчинну форму, а також зберегти та збільшити ступінь вилучення із сировини приховані зв'язані форми низькомолекулярних біологічно активних фітокомпонентів.

У зв'язку з цим, було вивчено вплив процесів кріомеханодеструкції на збереження низькомолекулярних біологічно активних фітокомпонентів (фенольних сполук, дубильних речовин, L-аскорбінової кислоти тощо) топінамбура (табл. 3.8 та рис. 3.12). Бульби топінамбура заморожували в кріогенному програмному заморожувачі з програмним забезпеченням за допомогою рідкого азоту до температури всередині продукту в діапазоні від мінус 18 °С до мінус 40 °С і подрібнювали в низькотемпературному подрібнювачі-активаторі.

Таблиця 3.8

Вміст біологічно активних фітокомпонентів в свіжому топінамбурі та в дрібнодисперсних добавках, отриманих із застосуванням різних способів заморожування

Найменування показника	Топінамбур свіжий	Дрібнодисперсна добавка з топінамбура	
		традиційно замороженого до мінус 18 °С	кріогенно «шоково» замороженого до мінус 35 °С зі швидкістю 5 °С/хв
L-аскорбінова кислота, мг в 100 г	10,3±0,1	8,2±0,5	19,8±0,5
Фенольні сполуки (за хлорогеновою кислотою), мг в 100 г	350,0±5,7	300,2±6,6	700,0±10,4
Флавонолові глікозиди (за рутином), мг в 100 г	240,0±4,8	200,0±5,6	460,0±8,6
Дубильні речовини (за таніном), мг в 100 г	300,0±6,4	235,5±6,7	540,0±6,8

Встановлено, що використання процесів кріодеструкції та механоактивації під час кріогенного «шокового» заморожування до температури мінус 35 °С та дрібнодисперсного подрібнення топінамбура дає можливість зберегти, додатково вилучити та трансформувати біологічно активні фітокомпоненти (фенольні сполуки, дубильні речовини, L-аскорбінову кислоту тощо) із зв'язаного у наноконформах з біополімерами стану у вільний і отримати заморожені та порошкоподібні дрі-

бнодисперсні добавки, масова частка зазначених речовин в яких вище в 1,7...2,2 разу, ніж у вихідній (свіжій) сировині (табл. 3.8, рис. 3.12).

Так, масова частка аскорбінової кислоти у 100 г свіжого топінамбура становить 10,3 мг, а в 100 г замороженого до  $t = -35\text{ }^{\circ}\text{C}$  дрібнодисперсного пюре – 19,8 мг. Вміст низькомолекулярних фенольних сполук (за хлорогеновою кислотою) у 100 г становить 350,0 мг, флавонолових глікозидів (за рутином) 240,0 мг, а в замороженому до  $t = -35\text{ }^{\circ}\text{C}$  дрібнодисперсному пюре відповідно 700,0 мг та 460,0 мг в 100 г. Аналогічні закономірності стосуються і поліфенольних сполук (відповідно 300,0 мг у свіжій сировині та 540,0 мг в 100 г замороженого до  $t = -35\text{ }^{\circ}\text{C}$  дрібнодисперсного пюре з топінамбура (рис. 3.12).

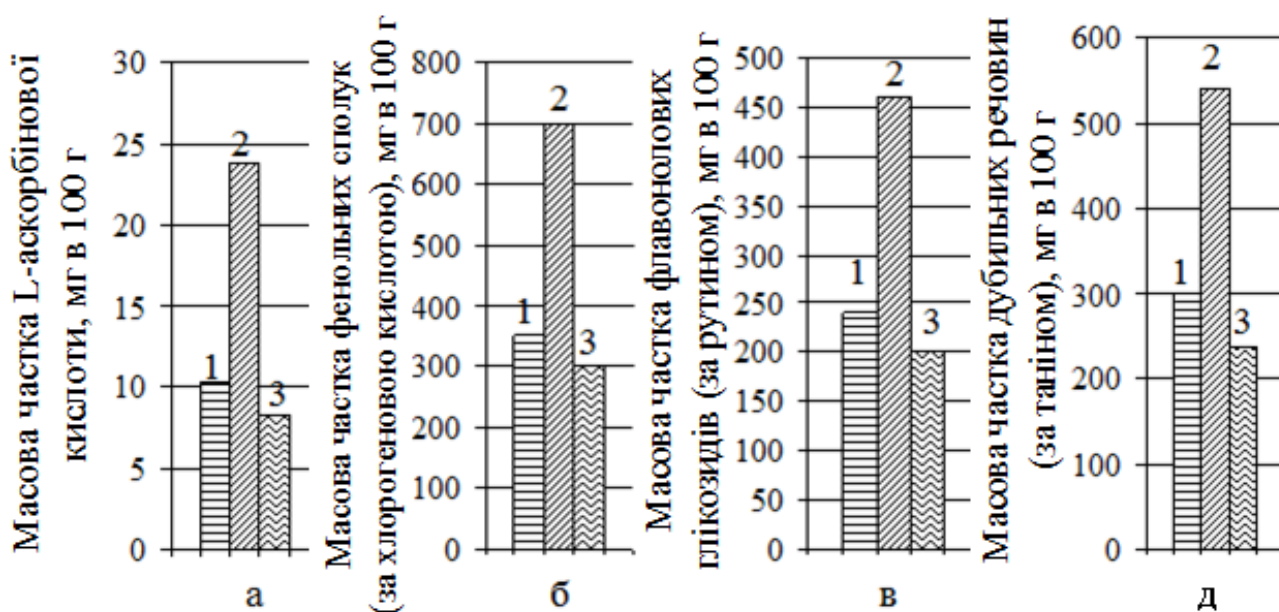


Рис. 3.12 – Вплив заморожування та дрібнодисперсного подрібнення на біологічно активні фітокомпоненти топінамбура, де: а, б, в – масова частка L-аскорбінової кислоти (а), фенольних сполук (б), флавонолових глікозидів (в), дубильних речовин (д); 1 – топінамбур свіжий, 2, 3 – дрібнодисперсне пюре з топінамбура, кріозамороженого зі швидкістю  $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{хв}$  до  $t$  мінус  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$  (2) та замороженого в морозильній камері до  $t$  мінус  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$  (3)

Збільшення вмісту біологічно активних фітокомпонентів в отриманих пюре з топінамбура пов'язано зі збільшенням вилучення низькомолекулярних БАР з клітин і переходом їх із зв'язаного з біополімерами стану у вільний. Це можна пояснити тим, що під час кріогенного «шокового» заморожування та низькотемпературного подрібнення виникають процеси кріодеструкції та механокрекінга, які, в свою чергу, призводять до руйнування водневих зв'язків і індукційної взаємодії між біологічно активними фітокомпонентами та біополімерами.

Показано, що при традиційному заморожуванні до температури в продукті мінус 18 °С та подрібненні відбуваються їх втрати від 15 до 23% (рис. 3.12, табл. 3.8).

Таким чином, кріозаморожені дрібнодисперсні добавки, отримані з використанням таких інновацій при переробці топінамбура, як кріозаморожування та дрібнодисперсне подрібнення, що супроводжуються процесами кріомеханодеструкції, набувають принципово нові споживчі властивості, які неможливо одержати, використовуючи традиційні методи обробки рослинної сировини. За якістю такі кріодобавки не мають аналогів у світі та знаходяться в нанорозмірній формі.

Коефіцієнт корисної харчової цінності таких продуктів перевищує в 1,7-2,2 рази вихідну сировину та традиційно отримані аналоги.

### **3.6 Спектроскопічні дослідження впливу процесів кріомеханодеструкції на пребіотичні речовини та БАР топінамбура при обробці нанотехнології дрібнодисперсних кріодобавок**

Наукові результати, одержані за допомогою хімічних методів, були підтверджені методом спектроскопічного аналізу при вивченні ІЧ-спектрів кріозаморожених дрібнодисперсних добавок та вихідної (свіжої) сировини – бульб топінамбура.

На рис. 3.13 наведено ІЧ-спектри висушеного топінамбура та порошкоподібної дрібнодисперсної кріодобавки із нього, а в табл. 3.9 представлена пояснювальна інформація до рис. 3.11, в якій наведено відомості про основні валентні коливання функціональних груп (-ОН, -NH, -SH, -C=O, -C-O, -COOH, -S=S, -C=N, -CH<sub>3</sub>) та цифрові значення частот характерних для їх коливань.

Показано, що в області частот при  $\nu=3000\dots3650\text{ см}^{-1}$ , характерних для валентних коливань функціональних ОН-груп, в порошкоподібних дрібнодисперсних кріодобавках із топінамбуру, на відміну від висушеного сублімаційним сушінням топінамбура, спостерігається зменшення інтенсивності ІЧ-спектрів. Це свідчить про руйнування міжмолекулярних та внутрішньомолекулярних водневих зв'язків, деструкцію комплексів біополімерів та низькомолекулярних речовин, дезагрегацію та механоліз пектинових речовин, білку, целюлози або їх асоціатів та наноконкомплексів.

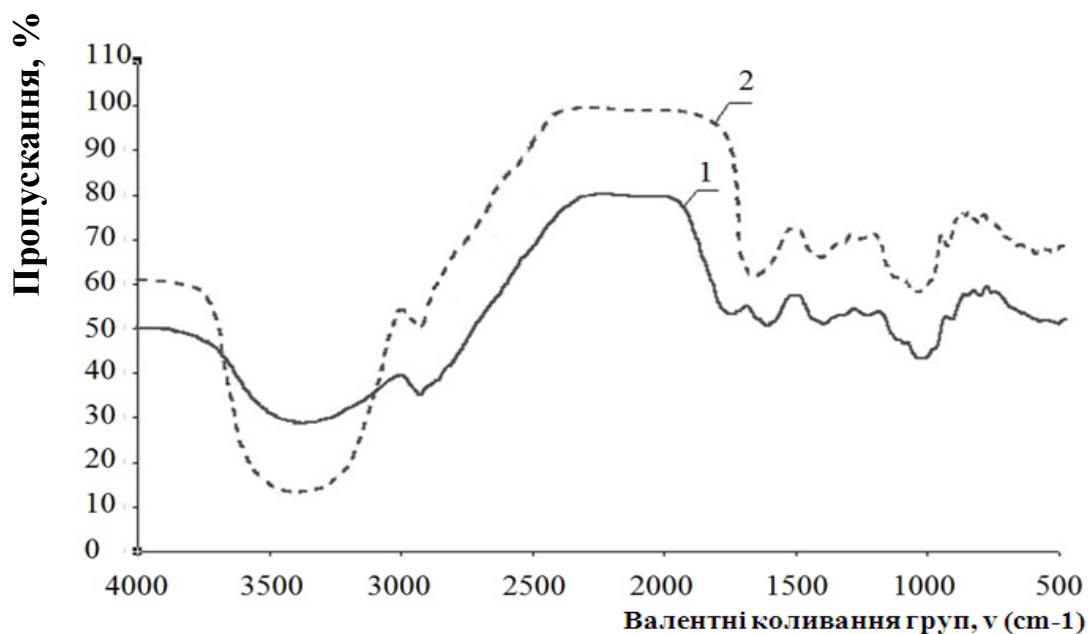


Рис. 3.13 – ІЧ-спектри висушеного топінамбура та порошкоподібної дрібнодисперсної добавки з нього, де: 1 – висушений сублімаційним сушінням топінамбур; 2 – порошкоподібна дрібнодисперсна добавка із топінамбура

Таблиця 3.9

Відомості про основні валентні коливання функціональних груп дрібнодисперсних порошків (-OH, -NH, -SH, -C=O, -C-O, -COOH, -S=S, -C=N, -CH<sub>3</sub>) та цифрові значення частот характерних для їх коливань

Валентні коливання груп, см <sup>-1</sup>				
ОН	NH	CH	S-H	C=O
3645...2500	3500...3300	3350...2850	2600...2550	1750...1720
Валентні коливання груп, см <sup>-1</sup>				
C-O-	COOH	S=S	C=N	CH <sub>3</sub>
1300...1000	1750...1700	550...450	1230...1030	1470...1355

Крім того, спостерігається збільшення інтенсивності спектрів в області частот 2900...2000 см<sup>-1</sup> та 1700...1100 см<sup>-1</sup>, характерних для валентних коливань груп -CH<sub>3</sub>, -NH<sub>2</sub>, -NH<sub>3</sub>, CO-, а також ненасичених подвійних зв'язків, що свідчить про збільшення після дрібнодисперсного подрібнення топінамбура масової частки та переходу низькомолекулярних біологічно активних фітокомпонентів із зв'язаного з біополімерами стану у вільний, а також про трансформацію частини біополімерів (наприклад, білку, целюлози, пектинових речовин) до їх мономерів (амінокислот, простих цукрів, галактуранової кислоти).

Таким чином, ІЧ-спектри підтверджують наукові результати, отримані хімічними методами.

### **3.7 Вивчення засвоюваності дрібнодисперсних кріодобавок із топінамбура методом біотестування з використанням живих культур інфузорій *Paramecium caudatum***

В розділі наведені результати вивчення впливу криогенного «шокового» заморожування та дрібнодисперсного подрібнення на біологічну активність (ступінь засвоюваності) заморожених дрібнодисперсних кріодобавок у формі пюре та порошоків із топінамбура в порівнянні з традиційно подрібненою свіжою сировиною з використанням експрес-методу біотестування. Оцінку біологічної активності зразків рослинної сировини проводили на живих біотест-системах за методом Л.Н. Брайнеса. Як біотест-системи були використані надані Харківським Науково-дослідним інститутом охорони вод чисті культури інфузорій *Paramecium caudatum*. Метод Брайнеса дає можливість оцінювати біологічну активність досліджуваних зразків (рівень засвоюваності) за генеративною активністю одноклітинних. Суть методу полягає в наступному, що при додаванні в інкубаційну систему до живих найпростіших організмів досліджуваних продуктів, до складу яких входять стимулятори або інгібітори росту та розвитку одноклітинних, посилюється або навпаки сповільнюється їх поглинальна й перетравлювальна здатність. При цьому відбувається активація або пригнічення розмноження найпростіших.

Метод біотестування на одноклітинних чистих культур інфузорій протягом останніх 40 років широко використовується для інтегральної експрес-оцінки якості води, а також продуктів бджільництва (бджолиного маточного молочка, трутневих личинок, квіткового пилку). У даній роботі був використаний метод біотестування для експрес-оцінки якості продуктів з рослинної сировини модифікований проф. Павлюк Р.Ю., який в останні 20 років широко використовується для оцінки якості добавок у формі порошоків і пюре з різних видів плодово-ягідної та овочевої сировини.

За генеративною активністю інфузорій (приросту молодих форм парамецій, у %) судили про генеративну активність досліджуваних зразків із плодовоовочевої сировини. В дослідних інкубаційних живих тест-системах паралельно контролювали концентрацію розчинних та нерозчинних харчових та біологічно активних речовин (рис. 3.14). Порівняння генеративної активності інфузорій в тест-системах з ви-



користанням грубоподрібненого топінамбура (до розміру 5-150 мкм) та дрібнодисперсної кріодобавки (менше 1 мкм) показало, що застосування процесів кріомеханодеструкції та механоактивації при отриманні добавок призводить до значного збільшення генеративної активності одноклітинних культур парамецій в 2,7–3,0 рази в порівнянні з грубоподрібненим топінамбуром (рис. 3.14). Так, приріст молодих форм в тест-системах інфузорій з грубоподрібненим топінамбуром складає 30...35%, а з дрібнодисперсною кріодобавкою – 85...90%.

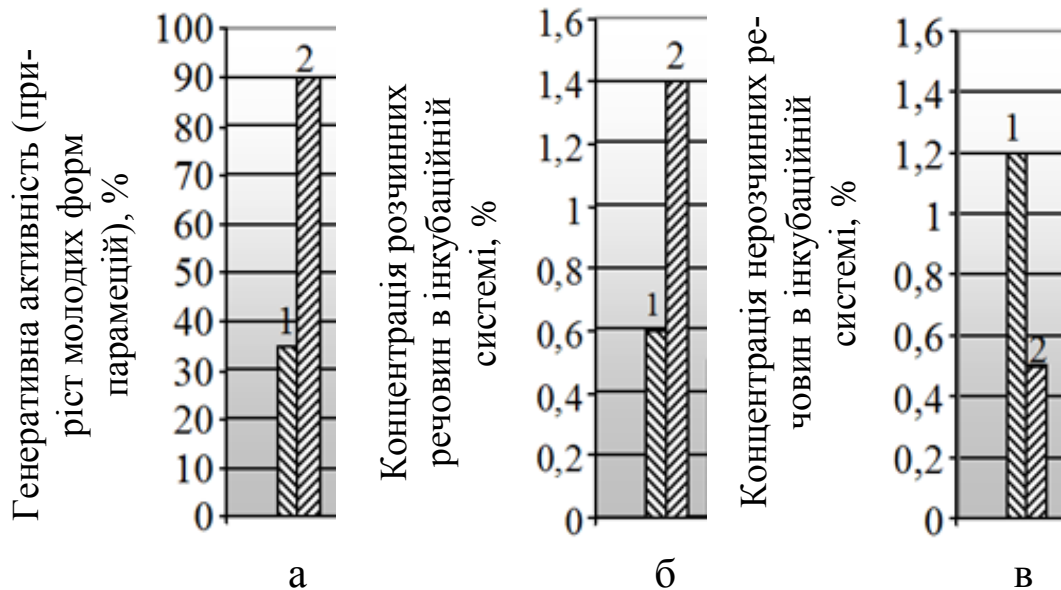


Рис. 3.14 – Вплив процесів кріомеханодеструкції на генеративну активність парамецій (приріст молодих форм, %) та засвоюваність дрібнодисперсних добавок із топінамбуру, де: а – генеративна активність парамецій (приріст молодих форм, %), б, в – концентрації розчинних (б) і нерозчинних (в) речовин в інкубаційних біотест-системах; 1 – грубо подрібнений топінамбур, 2 – дрібнодисперсне кріопоре із топінамбура

Показано, що при використанні дрібнодисперсних добавок в інкубаційну систему потрапляє в 2–2,4 разу більше розчинних речовин і менше важкорозчинних (також 2–2,3 разу менше).

Таким чином, за допомогою метода біотестування тест-культур інфузорій (за генеративною активністю одноклітинних) показано, що в порівнянні із грубодисперсно подрібненим топінамбуром засвоюваність дрібнодисперсного кріопоре із топінамбура в 2,7–3,0 рази вище. Це пов'язано з більш високим вилученням із сировини (екстракцією) в інкубаційну біотест-систему розчинних біологічно активних та харчових речовин, які знаходяться в нанорозчинній формі при дрібнодисперсному подрібненні. Таким чином, для забезпечення організму людини біологічно активними та харчовими речовинами топінамбур

краще споживати у вигляді дрібнодисперсного пюре, в якому всі поживчі речовини знаходяться в легкозасвоюваній формі, ніж традиційно подрібнений свіжий топінамбур. Крім того, отримані результати свідчать про те, що відбувається значно повніше використання біопотенціалу, закладеного в рослинній сировині.

### **3.8 Розробка кріогенної нанотехнології кріозаморожених та порошкоподібних дрібнодисперсних добавок із топінамбура та вивчення в них вмісту БАР та пребіотиків**

Отримані результати наукових досліджень, які наведені в розділі 3, стали основою при розробці кріогенної нанотехнології заморожених та порошкоподібних дрібнодисперсних оздоровчих добавок із топінамбура, яка включає комплексний вплив на сировину кріогенного «шокового» заморожування (за температури в камері мінус 60 °С і кінцевої температури заморожування всередині продукту від мінус 32 до мінус 35 °С) та дрібнодисперсного подрібнення. Від традиційних кріогенна нанотехнологія відрізняється використанням більш високої швидкості заморожування (10 °С/хв.) та більш низької кінцевої температури в продукті (-32...-35 °С) кріогенного заморожування з використанням рідкого та газоподібного азоту, а також дрібнодисперсного подрібнення продуктів до частинок, розміри яких в декілька разів менше, ніж у відомих добавках. Відомо, що при традиційному «шоковому» заморожуванні продукт заморожують до -18 [13, 14]. Експериментально визначені та обґрунтовані раціональні параметри технології, розроблені технологічні схеми, підібране обладнання як для кріопюре, так і для нанопорошків сіблімаційного сушіння. Технологія отримання порошкоподібних добавок включає кріогенне «шокове» заморожування нарізаного на пластинки топінамбура, сублімаційне вакуумне сушіння та дрібнодисперсне подрібнення (рис. 3.15).

Нова технологія кріозаморожування повністю виключає теплову обробку сировини та заснована на використанні кріогенної обробки на стадії підготовки топінамбура, а саме кріогенного «шокового» заморожування в середовищі рідкого азоту та дрібнодисперсного подрібнення. Технологічна схема виробництва кріозаморожених та порошкоподібних дрібнодисперсних добавок із інуліновмісної сировини (топінамбуру) представлена на рисунку 3.15.

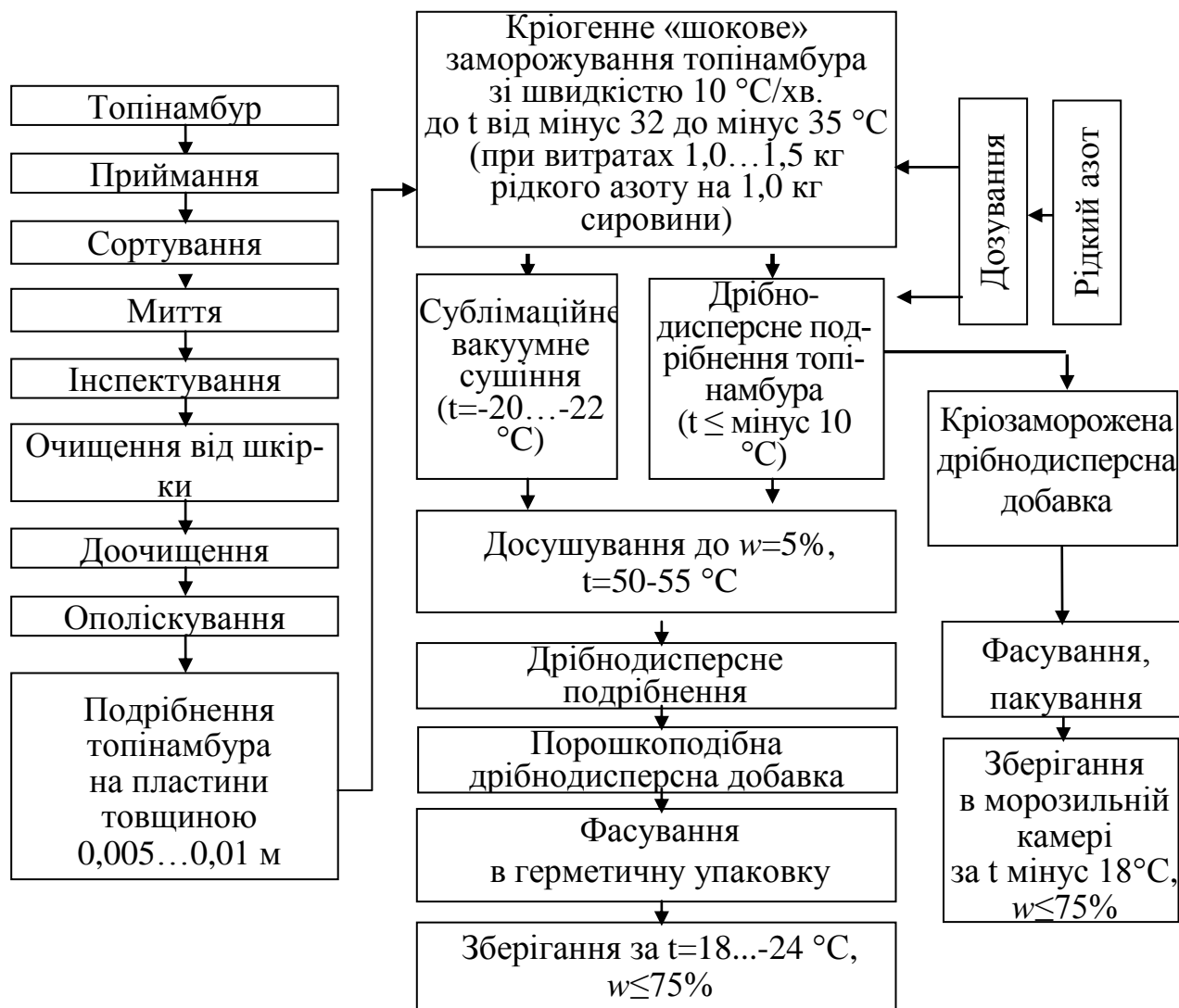


Рис. 3.15 – Технологічна схема виробництва кріозаморожених та порошкоподібних дрібнодисперсних добавок сублімаційного сушіння із інуліновмісної сировини (топінамбура) в нанорозмірній формі з рекордним вмістом біологічно активних фітокомпонентів

Технологічний процес виробництва кріозаморожених та порошкоподібних дрібнодисперсних добавок сублімаційного сушіння включає приймання, сортування, миття, інспектування, очищення сировини, доочищення, ополіскування, нарізання (без застосування холоду), а також кріогенного «шокового» заморожування з використанням рідкого азоту. Далі при виробництві кріозаморожених добавок технологічний процес включає дрібнодисперсне подрібнення, фасування, пакування та зберігання в морозильній камері. При виробництві порошкоподібних добавок технологічний процес включає сублімаційне вакуумне сушіння кріозамороженого нарізаного на пластини топіна-

мбура, досушування, дрібнодисперсне двохступеневе подрібнення з подальшим фасуванням та зберіганням.

Більш детальний опис технологічної схеми виробництва наведено нижче. Приймання сировини бульб топінамбуру, що надходять на переробку, мають відповідати вимогам нормативної та технічної документації, яка підтверджує її якість та безпеку. СОРТУВАННЯ здійснюється шляхом розділення сировини на фракції за розміром, кольором і ступенем стиглості з метою вибракування некондиційної продукції. З поверхні сировини видаляють ґрунтові забруднення та залишки отрутохімікатів, а також зменшують обсіменіння мікроорганізмами шляхом миття для якого застосовують питну воду. Вона повинна бути прозорою, безбарвною, мати приємний смак, не мати запаху. У воді не повинно бути токсичних для людини речовин, зокрема аміаку і сірководню. Велике значення для технологічних цілей має показник жорсткості води, який повинен становити не більше 7 мг-екв/л. Гідромодуль сировини і води повинен складати 1:3...1:5. При інспектуванні відбираються несортові, гnilі, биті плоди, а також сторонні домішки.

Очищення бульб топінамбура проводиться в машинах із звільненням від шкірки. Але при очищенні бульб топінамбуру є труднощі, які пов'язані з морфологічною будовою бульб. Тому, після миття та очищення проводять доочистку вручну, що ускладнює процес переробки топінамбуру і є стримуючим фактором взагалі при використанні і переробці бульб топінамбуру. Над цим питанням постійно працюють вчені та інженери-раціоналізатори. Бульби топінамбура нарізають на пластини товщиною 0,5...1,0 см (без застосування холоду). Далі проводиться кріообробка топінамбура.

Кріогенне «шокове» заморожування шматочків топінамбура відбувається за температури мінус 60 °С в кріогенному програмному заморожувачі з комп'ютерним забезпеченням з використанням рідкого (або газоподібного) азоту з різними швидкостями 10, 20 °С/хв. до кінцевої температури всередині продукту –32...–35 °С. При цьому, витрати рідкого азоту на заморожування 1 кг сировини становлять 1,0...1,5 л, залежно від товщини шматочків, які заморожуються та швидкості заморожування. Об'єм робочої камери по завантаженню продукції може бути різний: від 50 кг до 200 кг, а може бути конвеєрне заморожування в тунелі.

Дрібнодисперсне подрібнення – здійснюють в низькотемпературному подрібнювачі-активаторі (Франція) за температури не вище мінус 10 °С до розміру частинок продукту, що в десятки разів менше,

ніж при традиційному подрібненні.

Фасування, пакування замороженого дрібнодисперсного пюре відбувається в індивідуальну споживчу тару для роздрібного продажу (пачки ламінованого картону, пакети з термозварювальних матеріалів (лакований целофан, поліетиленова плівка, поліамід-целофану), а також тару з термопластичних полімерних матеріалів (ємності, коробки та іншу тару) з подальшою упаковкою в транспортну тару (ящики з гофрованого картону з мішками вкладишами з плівки з полімерних матеріалів).

Готові заморожені дрібнодисперсні добавки із топінамбура зберігають у морозильних камерах за температури  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  з відносною вологістю повітря не більше 75% впродовж 12 місяців з дати виготовлення.

Технологічний процес дрібнодисперсних порошків включає ті ж самі технологічні етапи, що і кріозаморожені дрібнодисперсні пюре, але після кріогенного заморожування шматочки топінамбура висушують у вакуумній сублімаційній сушарці, зокрема УВС-08, за температури мінус  $20\dots-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ , тиску  $-10^{-3}\dots 8\cdot 10^{-4}$  Па, після чого досушують за температури  $+50\dots+55\text{ }^{\circ}\text{C}$  протягом  $30\dots 40$  хв до кінцевої вологості в продукті 5%, потім проводять двохступеневе дрібнодисперсне подрібнення, упаковують в герметичну світлогазовологонепроникну тару, наприклад, з трьохшарових плівчастих матеріалів на основі алюмінієвої фольги, або в жерстяні банки, які спрямовують на реалізацію та зберігання при кімнатній температурі  $+20\dots+25\text{ }^{\circ}\text{C}$  протягом року (12 місяців без зміни якості продукту) (рис. 3.13).

Зберігають порошкоподібні дрібнодисперсні добавки з топінамбура за температури  $20\dots 25\text{ }^{\circ}\text{C}$  при відносній вологості повітря не більше 75% протягом 12 місяців без втрат якості.

### **3.9 Вивчення якості заморожених та порошкоподібних дрібнодисперсних добавок із топінамбура, отриманих за кріотехнологією**

Вивчено якість заморожених та порошкоподібних дрібнодисперсних добавок із топінамбура за вмістом пребіотичних речовин та біологічно активних фітокомпонентів, а також якість під час зберігання за органолептичними, фізико-хімічними, мікробіологічними показниками та за вмістом L-аскорбінової кислоти.

Показано, що нові кріозаморожені та порошкоподібні дрібнодисперсні добавки можна розглядати як джерело пребіотичних речовин (інуліну, пектинових речовин, целюлози, білку), а також біологічно активних фітокомпонентів рослинної сировини, що сприяють підвищенню імунітету (L-аскорбінової кислоти, фенольних сполук, флавоноло-

вих глікозидів, дубильних речовин тощо), якість яких практично не змінюється впродовж 12 місяців (табл. 3.10). Встановлено, що нові добавки за вмістом пребіотичних речовин та біологічно активних фітокомпонентів перевищують якість відомих аналогів.

Таблиця 3.10

Вміст пребіотичних та біологічно активних фітокомпонентів в заморожених та порошкоподібних дрібнодисперсних оздоровчих добавках із топінамбура (n=3, P≥0,95)

Найменування показника	Дрібнодисперсна добавка з топінамбура	
	заморожена	порошкоподібна
Вуглеводи, в тому числі:		
інулін, %	17,1±0,5	73,6±2,5
загальний цукор, %	6,7±0,2	25,6±1,6
фруктоза, %	10,4±0,5	22,4±0,8
Білок, %	4,8±0,1	25,6±0,4
Целюлоза, %	1,2±0,1	5,6±0,4
Пектин, %	0,8±0,1	3,6±0,2
L-аскорбінова кислота, мг в 100 г	5,7±0,5	28,5±2,4
Фенольні сполуки (за хлорогеновою кислотою), мг в 100 г	19,8±2,4	78,2±5,3
Флавонолові глікозиди (за рутином), мг в 100 г	700,0±21,0	2800,0±51,4
Дубильні речовини (за таніном), мг в 100 г	460,0±30,1	1800,0±62,4
Зольність, %	540,0±21,2	2160,0±48,4
Сухі речовини, %	1,6±0,1	6,8±0,4
Органічні кислоти, %	28,2±0,5	94,5±0,1
	0,6±0,05	1,0±0,1

Встановлено, що заморожені дрібнодисперсні добавки із топінамбура є джерелом пребіотичних речовин, L-аскорбінової кислоти. Так, в пюре міститься 19,8...22,4 мг в 100 г, що становить 25% добової потреби у вітаміні С, а в порошках – 78,2...83,5 мг в 100 г, що становить добову потребу. Крім того, отримані добавки відрізняються високим вмістом фенольних сполук (700,0...720,0 мг в 100 г пюре та 2800,0...2850,0 мг в 100 г порошків), флавонолових глікозидів (460,0 мг в 100 г пюре та 1800,0 мг в 100 г порошків), дубильних речовин (540,0 мг в 100 г пюре та 2160,0 мг в 100 г порошків). Як відомо, останні є потужними натуральними природними антиоксидантами,

імуномодуляторами, детоксикантами та мають антибактеріальну та консервуючу дію, що сприяє очищенню організму людини від шкідливих речовин, які надходять в організм разом з харчовими продуктами та підтримують кишечник організму людини в здоровому стані.

Вивчення органолептичних показників заморожених та порошкоподібних дрібнодисперсних добавок із топінамбура показало, що вони являють собою однорідні дрібнодисперсні продукти відповідно у формі замороженого пюре та порошоків світло-кремового або білого кольору, рівномірно забарвлені за всією масою, без сторонніх включень, залишків шкірочки та грубих часток бульбоплодів, з натуральним, властивим сировині смаком, без сторонніх присмаків та запахів (табл. 3.11).

Таблиця 3.11

Органолептичні показники заморожених та порошкоподібних дрібнодисперсних добавок із топінамбура

Найменування добавки	Найменування показників		
	Зовнішній вигляд і консистенція	Колір	Смак та запах
Заморожена дрібнодисперсна добавка	Однорідний пюреподібний продукт, без сторонніх включень	Світло кремовий, рівномірний за всією масою, властивий сировині, з якої виготовлена добавка або може бути більш інтенсивним	Злегка солодкий, натуральний, властивий свіжій сировині, без сторонніх присмаків та запахів
Порошкоподібна дрібнодисперсна добавка	Однорідний дрібнодисперсний порошок, без сторонніх включень	Світло кремовий, рівномірний, властивий сировині, з якої виготовлена добавка або може бути більш інтенсивним	Злегка солодкий, натуральний, добре виражений, властивий свіжій сировині, без сторонніх присмаків та запахів

Кількість мезофільних аеробних і факультативно анаеробних мікроорганізмів становить  $4,6 \times 10^4 \dots 4,8 \times 10^4$  КУО в 1 г, що суттєво нижче норм, передбачених НД на аналогічні продукти.

Вивчено якість нових заморожених дрібнодисперсних добавок із топінамбура під час зберігання протягом 12 місяців в герметичній упаковці за температури  $-18^\circ\text{C}$ .

При цьому контролювали фізико-хімічні показники (масову част-

ку вологи і органічних кислот), вміст L-аскорбінової кислоти, а також загальну кількість мезофільних аеробних і факультативно анаеробних мікроорганізмів. Результати досліджень представлені в табл. 3.12.

Таблиця 3.12

Фізико-хімічні показники, вміст L-аскорбінової кислоти та мікробіологічні показники заморожених та порошкоподібних дрібнодисперсних добавок із топінамбура під час зберігання (n=3, P≥0,95)

Найменування добавки	Тривалість зберігання, міс.	Масова частка				Загальна кількість КМА-ФАМ, КУО в 1 г
		вологи, %	органічних кислот, %	L-аскорбінової кислоти		
				мг в 100 г	% до вих.	
Заморожене дрібнодисперсне пюре із топінамбура	на початку зберігання	75,5	0,4	19,8	100,0	4,6x10 <sup>4</sup>
	1	75,5	0,4	19,5	98,4	4,6x10 <sup>4</sup>
	3	75,3	0,4	19,3	97,5	4,6x10 <sup>4</sup>
	5	75,3	0,4	19,1	96,7	4,7x10 <sup>4</sup>
	7	75,1	0,4	18,9	95,5	4,7x10 <sup>4</sup>
	9	75,1	0,5	19,1	96,5	4,7x10 <sup>4</sup>
	12	74,8	0,5	19,4	102,0	4,8x10 <sup>4</sup>
Дрібнодисперсний порошок із топінамбура сублімаційного сушіння	на початку зберігання	5,5	2,0	78,2	100,0	4x10 <sup>4</sup>
	1	5,5	2,0	76,5	97,8	4x10 <sup>4</sup>
	3	5,5	2,0	74,3	95,0	4x10 <sup>4</sup>
	5	5,6	2,2	72,3	92,4	4,2x10 <sup>4</sup>
	7	5,6	2,2	79,8	109,2	4,2x10 <sup>4</sup>
	9	5,8	2,3	77,7	96,6	4,4x10 <sup>4</sup>
	12	5,8	2,3	75,5	99,7	4,4x10 <sup>4</sup>

Показано, що якість заморожених дрібнодисперсних добавок із топінамбура протягом 12 місяців практично не змінювалася. Невеликі втрати L-аскорбінової кислоти спостерігалися після 9 місяців зберігання (відповідно 13,5% у пюре та 13,4% в порошках). Втрати L-аскорбінової кислоти після зберігання протягом 12 місяців склали 0,5...1,0% у пюре та 1...3% в порошках. Показано, що фізико-хімічні показники (вологість і кислотність) та кількість мікроорганізмів протягом 12 місяців практично не змінювалися і знаходилися на рівні вихідних зразків.

Таким чином, нові заморожені дрібнодисперсні добавки з топінамбура, отримані за криогенною технологією є натуральними концентратами біологічно активних фітокомпонентів з імуномодулюючою, антиоксидантною та детоксикуючою дією і мають тривалі терміни зберігання. Нові добавки були використані при розробці технологій нових видів оздоровчих продуктів (комбінованих кисломолочних напоїв та біойогуртів, сиркових десертів, хлібобулочних та кондитерських виробів).

Встановлено, що добавки із топінамбура – нанопорошки за хіміч-



ним складом, вмістом БАР і дисперсним станом перевершують відомі світові аналоги, отримані за традиційними технологіями. Такі технології здійснюються при тепловому сушінні за температури +65...+130 °С та вище. Зокрема, за допомогою конвективного, конвективно-вакуумного, конвективно-імпульсного, кондуктивного, вакуумного, розпилювального та ін. методів сушіння [23, 24, 25]. Значна частина речовин (зокрема, інуліну, білку, целюлози, пектинових речовин) та БАР (фенольних сполук, флавонолових глікозидів, дубильних речовин) в кріопорошках із топінамбура на 60...70% знаходиться в нанорозмірній формі (табл. 3.13).

Таблиця 3.13

Вміст біологічно активних та пребіотичних речовин в кріонанопорошках із топінамбура в порівнянні з аналогами (n=3, P≥0,95)

Найменування показника	Свіжий топінамбур	Нанопорошок із топінамбура	Аналог – порошок із топінамбура конвективного вакуум-імпульсного (КВІ) сушіння	Аналог – порошок із топінамбура конвективного сушіння
Інулін, %	12,8±0,5	25,6±1,5	9,75±0,1	7,46±1,3
Фруктоза, %	–	25,6±1,5	0,0	0,0
Білок, %	1,2±0,01	9,1±0,2	8,9±0,1	8,7±0,1
Зв'язані амінокислоти білку, мг в 100 г	1664,0±50,4	3698,0±60,2	–	–
Вільні амінокислоти білку, мг в 100 г	350,0±60,3	5415,0±60,4	–	–
Загальний пектин, %	1,9±0,3	30,0±1,6	9,3±0,1	8,4±0,1
Протопектин, %	1,2±0,1	10,4±0,5	–	–
Розчинний пектин, %	0,7±0,1	23,0±0,3	–	–
Загальний цукор, %	4,4±0,1	23,7±1,4	70,25±0,2	71,33±0,2
Вітамін С, мг в 100 г	10,3±0,1	78,2±2,4	16,4±1,1	12,2±0,3
Фенольні сполуки (за хлороген. к-тою), мг в 100 г	350,0±5,7	2800,0±12,4	700,2	810,2
Флавонолові глікозиди (за рутином), мг в 100 г	240,0±4,8	1800,0±12,4	410,6	480,2
Дубильні речовини, мг в 100 г	300,0±6,4	2160,0±14,0	651,2	620,2
Зольність, %	1,6±0,1	6,8±0,2	6,0±0,2	5,9±0,1
Органічні кислоти, %	0,3±0,01	2,0±0,1	0,8±0,1	0,65±0,1
Волога, %	76,4±1,2	5,5±0,1	7,9±0,1	7,3±0,1

Так, наприклад, важкорозчинні біополімери (білки, інулін, целюлоза, пектинові речовини) топінамбура трансформувалися на 45,0... 55,0% в розчинну форму у вигляді окремих мономерів (фруктози, вільних  $\alpha$ -амінокислот, глюкози, галактуронової кислоти), які мають нанорозмірну форму. Відомо, що останні мають розмір молекул від 0,8...1,4 нм [13, 14].

Нанопорошки відрізняються від аналогів високим вмістом фруктози (до 25,0 %) і фруктоолігосахаридів. Крім того, вони відрізняються високим вмістом низькомолекулярних фенольних сполук (за хлорогеновою кислотою) (до 2800 мг в 100 г), флавонолових глікозидів (за рутином) (до 1800 мг в 100 г), дубильних речовин (до 2160,0 мг в 100 г) (табл. 1). Зазначені сполуки мають потенційні імуномодулюючі, антиокислювальні, детоксикуючі та протипухлинні властивості [13, 14].

Нові технології пройшли апробацію в виробничих умовах в ПП «НВП Кріас Плюс» (м. Харків, Україна) та НПП «ФШАР» (м. Харків, Україна), розроблено нормативну документацію (ТУ У 15.3–01566330–304 та ТІ). На їх основі розроблено нові види оздоровчих продуктів (комбіновані кисломолочні напої (біокефіри і біойогурти з пребіотичними властивостями), сиркові десерти, сухі швидкорозчинні фруктові «Instant» нанопаї, сухі соки, хлібобулочні та кондитерські вироби, нові види наноморозива та ін.) [13, 14].

### **Висновки до розділу 3**

Науково обґрунтуванню та розроблено нанотехнології заморожених та порошкоподібних дрібнодисперсних добавок із інуліновмісної сировини (топінамбура), що є джерелом пребіотичних речовин, а також натуральними структуроутворювачами та одночасно збагачувачами біологічно активними фітокомпонентами. Виробництво нових добавок засновано на використанні комплексної дії процесів кріомеханодеструкції, кріомеханохімії та механоактивації під час кріогенного «шокового» заморожування та дрібнодисперсного подрібнення, спільне застосування яких призводить до значної деструкції гетерополісахаридів (інуліну, целюлози), а також білку, пектинових речовин до їх окремих мономерів (фруктози, цукрів,  $\alpha$ -амінокислот, розчинного пектину) та одночасного збільшення масової частки біологічно активних фітокомпонентів (фенольних сполук, дубильних речовин, L-аскорбінової кислоти тощо), а також до інактивації окислювальних ферментів, що дає можливість зберегти отриману високу харчову та

біологічну цінність добавок протягом значного терміну зберігання.

Вивчено якість топінамбура як сировини для отримання заморожених та порошкоподібних дрібнодисперсних добавок. Встановлено, що топінамбур є джерелом комплексу неперетравлювальних компонентів їжі – пребіотичних речовин, склад яких представлений переважно інуліном (12,8%), целюлозою (2,0%), пектиновими речовинами (1,9%), білком (1,2%), а також джерелом біологічно активних фітокомпонентів антиоксидантної та імуномодулюючої дії – фенольних сполук (350,0 мг в 100 г), дубильних речовин (300,0 мг в 100 г), L-аскорбінової кислоти (10,3 мг в 100 г) тощо.

Встановлені закономірності та механізми впливу кріогенного заморожування та дрібнодисперсного подрібнення топінамбура на активність окислювальних ферментів. Модельними дослідженнями показано, що заморожування до температури  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  традиційним способом в морозильній камері та кріогенним способом із застосуванням рідкого азоту призводить до збільшення активності окислювальних ферментів (пероксидази, поліфенолоксидази) топінамбура в 1,3...1,4 рази. Встановлено також, що застосування кріогенного «шокового» заморожування до температури в середині продукту  $-32\text{...}-35\text{ }^{\circ}\text{C}$  та нижче за рахунок процесів кріодеструкції призводить до інактивації окиснювальних ферментів, активність яких не відновлюється при подальшому дрібнодисперсному подрібненні.

Встановлено, що процеси кріомеханодеструкції та кріомеханохімії під час кріогенного «шокового» заморожування та дрібнодисперсного подрібнення топінамбура призводять до значного руйнування та часткової трансформації інуліну та інших важкорозчинних гетерополісахаридів топінамбура до їх мономерів (40...50% інуліну – до фруктози, 45...55% целюлози – до глюкози).

Встановлено, що під час кріогенного «шокового» заморожування та дрібнодисперсного подрібнення топінамбура за рахунок процесів кріомеханодеструкції відбувається більш повне вилучення (в 3,0...3,5 рази) загальної кількості пектинових речовин із зв'язаного з іншими біополімерами стану у вільний та часткова трансформація (на 50...70%) протопектину в розчинний пектин.

Встановлено, що використання процесів кріомеханодеструкції під час кріогенного «шокового» заморожування та дрібнодисперсного подрібнення топінамбура дає можливість не тільки зберегти, але й додатково вилучити та трансформувати біологічно активні фітокомпоненти (фенольні сполуки, дубильні речовини, L-аскорбінову кисло-

ту тощо) із зв'язаного у наноконкомплексах з біополімерами стану у вільний і отримати заморожені та порошкоподібні дрібнодисперсні оздоровчі добавки, масова частка зазначених речовин в яких вище в 1,7...2,2 разу, ніж у вихідній (свіжій) сировині. Збільшення масової частки фітокомпонентів підтверджено методом ІЧ-спектроскопії.

Встановлено, що заморожування та кріомеханодеструкція призводять до неферментативного біокаталізу – механолізу молекул білка до окремих мономерів – вільних амінокислот (на 45...55%), а також спричиняють їх конформаційні зміни. Виявлено, що співвідношення суми гідрофільних до гідрофобних залишків амінокислот в білкових глобулах дрібнодисперсних порошоків топінамбура в порівнянні з вихідною сировиною збільшується на 40%. Це свідчить про збільшення площі поверхні гідрофільної оболонки білкової глобули і про паралельне зменшення заповнення ядра глобули гідрофобними залишками. Встановлено також, що відбувається зменшення радіусу, об'єму білкової глобули, радіусу ядра і показника заповнення ядра гідрофобними залишками та форми білкової молекули. Виявлено механізми зазначених процесів, які пов'язані з механокрекінгом.

З використанням метода біотестування тест-культур інфузорій (за генеративною активністю одноклітинних) визначено, що засвоюваність заморожених дрібнодисперсних добавок із топінамбура в формі пюре та порошоків у 2,7...3,0 рази вище, ніж вихідної сировини. Це пов'язано з особливостями хімічного складу добавок, вмістом БАР та дисперсним станом. Значна частина хімічних речовин (на 60...70%) знаходиться в нанорозчинній формі.

### Список літератури до розділу 3

1. State Standard ISO 5983-1. (2014). Determination of nitrogen content and calculation of crude protein by Kjeldahl (Viznachennya vmistu azotu ta obchislennya vmistu sirogo proteinu metodom K'eldalya).
2. GOST 8756.13-87. Processed fruits and vegetables. Methods for determination of sugars.
3. GOST 10820-75. Cellulose. Method for determination of pentosans.
4. Products of processing of fruits and vegetables. Methods for determination of vitamin C. GOST 24556-89. – [Insert. 01.01.1990]. – Moscow: Publishing House of Standards, 1989. – 16 p.
5. State Standard 4373:2005. Fruits, Vegetables and products of its processing. Methods for determination of polyphenol content.
6. Raw medicinal plant. Methods for determination of moisture, ash, extractives and tannins, essential oil. GOST 24027.2-80. – [Insert. 01.01.1981]. –

Moscow: Publishing House of Standards, 1980. – 24 p.

7. Ermakov, A., Arasimovich, V., Smirnova-Ikonnikova, M., Murry, I. (1972). Methods of biochemical studies of plants. Kolos, L., 456.

8. Products of processing of fruits and vegetables. Method for determination of titratable acidity. GOST 25555.0-82. – [Insert. 01.01.1983]. – Moscow: Publishing House of Standards, 1990. – 15 p.

9. Henshteyn, A., Hupe, K., Lotshpayh, F., Welter, W. (1988). High effective liquid chromatography in biochemistry. Mir, Moscow, 688.

10. Wolkenshtein, M. (1967). Physic of enzymes. Nauka, Moscow, 199

11. Pogarskaya, V. (2012). Scientific argumentation of technologies of carotenoid- and chlorophyll-containing fine-dispersed herbal additives: dissertation [Nauchnoe obosnovanie tehnologij karotinoidnyh i hlorofillsoderzhashih melkdispersnyh rastitel'nyh dobavok: dis. ... dokt. techn. nauk], Odessa, 502.

12. Braynes, L., Gorbachev, V. (1997). Determination of activity of apilaka (royal jelly) by biological test. Inform. bulletin about royal jelly (apilak), 4, 37 – 62.

13. Нанотехнології «NatureSuperFood» для здорового харчування : монографія / Р.Ю. Павлюк, В.В. Погарська, В.А. Павлюк, А.С. Бессараб, К.С. Балабай та ін. – Харків: Факт, 2019 – 487 с.

14. Новий напрямок глибокої переробки харчової сировини: монографія / Р.Ю. Павлюк, В.В. Погарська, А.С. Бессараб та ін.; Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі; Харк. торг.-економ. коледж Київськ. нац. торг.-економ. ун-ту; Харк. торг.-економ. інст-т Київськ. нац. торг.-економ. ун-ту. – Харків: Факт, 2017. – 380с.

15. Development of nanotechnologies of curd desserts, fruit and vegetable additives for their preparation as brewing agents, structures and colorants / R. Pavlyuk, V. Pogarskaya, E. Balabai, A., Pogarskiy // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2019. – Vol. 3/11 (99). – P. 13–22 (Scopus).

16. Pogarska V., Mykhailov V., Pogarskii O., Balabai K. Natural healthful fruit and vegetable nanobeverages with a record amount of BAS for enterprises of restaurant business, tourism and fitness// Progressive technique and technologies of food production enterprises, catering business and trade: col. scient. works. – Kharkiv: KSUFTT. 2017. – Ed. 2 (26). Pp. 21–36.

17. Вплив заморожування та механолізу на деструкцію інуліну та збереження БАР під час переробки топінамбура / Р.Ю. Павлюк, В.В. Погарська, В.А.Павлюк, К.С. Балабай – Scientific Letters of Academic Society of Michal Baludansky, 2017. – С. 89-93. (Словацька Республіка).

18. Павлюк Р. Ю., Погарская В. В., Таубер Р. Д., Балабай К. С., Боровий Т. Сенсаційні факти та відкриття прихованих форм БАР та пектинових речовин в плодах та овочах в кулінарії оздоровчих харчових продуктів // Turystyka Hotelarstwo Gastronomia w Teorii i Praktyce. – Poznan: Wyzsza Szkola Hotelarstwa i Gastronomii. 2017. No. 16. Pp. 265–282. (Польська Республіка).

19. The effect of cryomechanodestruction on activation of heteropolysaccharide-protein nanocomplexes during the development of nanotechnologies of herbal additives / R. Pavlyuk, V. Pogarska, V. Pavlyuk, E. Balabai, T. Kotuyk // Eastern-

European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. - Vol. 4/11 (82). – P. 20-28 (Scopus).

20. Розробка криогенної технології нанопорошків із топінамбуру з використанням рідкого та газоподібного азоту / В.В. Погарська, Р.Ю. Павлюк, А.С. Бессараб, К.С. Балабай та ін. // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2015. – №6/10 (78). – С. 4-10 (Scopus, Index Copernicus, РИНЦ).

21. The development of cryogenic method of deep treatment of inulin-containing vegetables (topinambour) and obtaining of prebiotics in the nanopowders form / R. Pavlyuk, V. Pogarska, V. Pavlyuk, K. Balabai, S. Loseva // Eureka: Life Sciences. – 2016. – №3(2016). – P. 36-43. (Естонська Республіка).

22. The impact of cryogenic freezing and non-enzymatic catalysis on destruction of inulin-proteic nanocomplexes of topinambour to monomers / R. Pavlyuk, V. Pogarska, K. Balabai – Збірник наукових праць «Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі», вип. 2 (20), X.: ХДУХТ. – 2017. – С. 7-26. (фахове видання України).

23. Cryogenic technology of fine-dispersed powdered additives from topinambour / R. Pavlyuk, V. Pogarskaya, A. Bessarab, K. Balabai // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі. – 2015. – Вип. 2. – С. 17-28.

## **РОЗДІЛ 4 НАНОТЕХНОЛОГІЇ ОЗДОРОВЧИХ ПРОДУКТІВ – СИРКОВИХ ДЕСЕРТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ КРІОДОБАВОК ІЗ ПЛОДІВ, ОВОЧІВ ТА ТОПІНАМБУРА**

Робота присвячена розробці нанотехнологій оздоровчих продуктів – кисломолочних сиркових десертів, які включають як інновацію механічну обробку сирного зерна, що супроводжується процесами механодеструкції та неферментативного каталізу казеїн-кальцій-фосфатних комплексів в нанорозмірну форму. Крім того, застосовано кріодобавки із топінамбура та інших плодів та овочів, які використані в сиркових десертах як збагачувачі біологічно активними речовинами (БАР), натуральні структуроутворювачі, гелеутворювачі та барвники. Застосування кріодобавок дало можливість виключити необхідність використання харчових домішок та синтетичних добавок. Сиркові десерти знаходяться в нанорозмірній формі та відрізняються від аналогів високим вмістом натуральних БАР плодів та овочів ( $\beta$ -каротину, фенольних сполук, дубильних речовин, хлорофілів, L-аскорбінової кислоти), розчинних пектинових речовин та ін., які сприяють зміцненню здоров'я організму людини. За вмістом перелічених БАР 100 г продукту задовільняють добову потребу організму людини.

Як основу сиркових десертів використовували знежирений кисломолочний сир. Як сировину для плодоовочевих кріодобавок використовували топінамбур, каротиновмісні плоди (гарбуз), цитрусові (лимон з цедрою), шпинат, яблука.

Гомогенізацію сиру розглянуто як технологічний прийом, що призводить до отримання гомогенної структури та до процесів механоактивації і механолізу – руйнування молекул білку до окремих складових. При цьому відбувається збільшення масової частки вільних  $\alpha$ -амінокислот та простих пептидів, розмір яких становить від 0,3 до 1,5 нм. Показано, що 40...45% зв'язаних  $\alpha$ -амінокислот трансформуються у вільну легкозасвоювану форму за рахунок механокрекінгу білку та його комплексів з мінеральними речовинами.

Розроблені авторами плодоовочеві кріопасті із топінамбура та інших плодів та овочів є джерелом унікального комплексу натуральних БАР: фенольних сполук (1,0...2,1%), каротиноїдів (32,6...45,6 мг в 100 г), L-аскорбінової кислоти (102,0...260,0 мг в 100 г), хлорофілів (800,0...1680,0 мг в 100 г) та інших.

У порівнянні з вихідною сировиною плодоовочеві кріопасті відрізняються високим вмістом розчинних пектинових речовин та за вмістом БАР перевищують якість свіжої сировини в 2,5...3,5 разу за рахунок вилучення при отриманні кріопаст прихованих неактивних форм у вільну форму. Розроблені сиркові десерти за вмістом БАР перевищують відомі аналоги.

Актуальність роботи пов'язана з тим, що сьогодні в міжнародній практиці змінилися вимоги до харчових продуктів як у споживачів, так і у компаній, що займаються їх виробництвом та реалізацією [1–3]. Головною вимогою до харчових продуктів є максимальна натуральність, наявність у складі компонентів та речовин, що сприяють зміцненню здоров'я, а також відсутність традиційних харчових домішок і синтетичних компонентів [4; 5].

Серед харчових технологій, які використовуються при виготовленні оздоровчих харчових продуктів, особливе місце займають високі технології з використанням інновацій, які дозволяють максимально зберегти біологічно активні речовини свіжої сировини [6]. Сьогодні в різних галузях промисловості, включаючи харчову, спостерігається буквально «бум» зі створення нанотехнологій [7–9]. В харчовій промисловості розробки стосуються в основному нанотехнологій імітованої та штучної харчової продукції із застосуванням хімічних синтетичних компонентів та методів. В даний час розроблено широкий асортимент імітованих штучних харчових продуктів, зокрема, м'яса, молока, круп, деяких овочів та ін. За смаком та органолептичними показниками штучні продукти майже не відрізняються від натуральних [10; 11]. Що стосується розробки нанотехнологій виготовлення продуктів із натуральної сировини, як рослинної, так і тваринної, то в міжнародній практиці такі дані відсутні [4; 5].

Актуальність досліджень пов'язана з вирішенням глобальної проблеми зниження імунітету у населення [1–3], яка викликана дефіцитом (близько 50%) в раціонах харчування біологічно активних речовин, білка. Крім того, спостерігається проблема голоду (кожний восьмий житель Земної кулі голодує) та ускладнюється загальним погіршенням екологічної ситуації та розгортанням пандемії в світі, яка пов'язана з захворюванням COVID-19. Підвищити імунітет можна шляхом вживання продуктів з високим вмістом БАР (вітамінів,  $\beta$ -каротину, хлорофілу, біофлавоноїдів, поліфенолів, білка, пектину, пребіотиків та ін.) [1; 2; 6]. Основним джерелом перелічених БАР є фрукти, ягоди, овочі, лікарська та пряноароматична рослинна



сировина. Джерелом білка – молоко, молочні продукти та ін. У зв'язку з цим, в провідних країнах світу для зміцнення імунної системи застосовують оздоровчі продукти, особливо комбіновані з фруктів, ягід, овочів та молока. Розробкою технологій таких продуктів займаються вчені провідних країн світу, зокрема, в Японії, США, Німеччині, Англії, Нідерландах та ін. Це один із пріоритетних і актуальних наукових напрямів в харчовій галузі, який інтенсивно розвивається в світі [2; 3; 8].

Відомо, що продукти із плодів, овочів та молока, особливо кисломолочні, є натуральними продуктами, які сприяють зміцненню імунитету, зміцненню здоров'я, гальмують процеси старіння організму та ін. [1; 2; 12].

Тому актуальним є проведення досліджень, присвячених розробці «нового покоління» функціональних продуктів для зміцнення імунитету – комбінованих молочно-рослинних продуктів збагачених натуральними плодоовочевими біологічно активними добавками. В області здорового харчування саме такі продукти є продуктами майбутнього двадцять першого століття [2; 3; 10].

Молочні та кисломолочні продукти займають особливе місце серед харчових продуктів, є джерелом, насамперед, повноцінних білків, незамінних амінокислот, які є будівельним матеріалом клітин та тканин в організмі людини та джерелом енергії [1–3]. Білки є основною складовою частиною будь-якого харчового раціону, які не можна виключити або замінити іншими компонентами, наприклад, жирами або вуглеводами. За даними дієтологів, найбільш важливими та дефіцитними в добовому раціоні є такі незамінні амінокислоти як: лізин, триптофан, метіонін, треонін, валін, джерелом яких є молоко та молочні продукти [6; 12]. В організмі людини останні знижують накопичення радіонуклідів цезію, стронцію, підвищують стійкість до іонізуючого опромінення, збільшують опірність до дії інших несприятливих факторів, поліпшують показники крові, перешкоджають утворенню пухлин. За міжнародними статистичними даними, населення України споживає молока і молочних продуктів на 50% нижче норм цивілізованих країн [3; 6; 10].

Але недоліком хімічного складу молочних продуктів є низький вміст біологічно активних речовин, зокрема, вітаміну С,  $\beta$ -каротину,  $\alpha$ -токоферолу, хлорофілу та ін. Крім того, в них низький вміст природних фітокомпонентів – антиоксидантів, геропротекторів, таких як низькомолекулярні фенольні сполуки (катехіни, флавонолові глікозиди, поліфеноли, та ін.), терпеноїди та ін. [1–3]. Джерелом зазначених речовин є

рослинна сировина (фрукти, ягоди, овочі, лікарська, пряноароматична), продукти бджільництва. Ідея створення комбінованих молочних і кисломолочних продуктів з рослинними добавками, що відрізняються високим вмістом БАР для імунопрофілактики та зміцнення здоров'я населення спочатку виникла в Японії (після трагедії в Хіросімі та Нагасакі) [1–3]. Потім була підхоплена в країнах Західної Європи, Америки та інших країнах [6; 12]. На сьогоднішній день проблемою харчування номер один у всьому світі є створення комбінованих молочно-рослинних, особливо, кисломолочних продуктів. Загальновідомо, що стан імунної системи організму людини на 80% залежить від стану кишечника та відома роль молочнокислих бактерій кисломолочних продуктів у підтримці кишечника в здоровому стані [1; 6].

Відомо, що до числа головних продуктів для імунопрофілактики і зміцнення здоров'я населення відносяться комбіновані кисломолочні продукти з рослинними добавками (біойогурти, біокефіри, біопростокваші, сиркові десерти [1; 6; 12]. До складу таких ферментованих продуктів входять корисні молочнокислі бактерії в активному стані та природні вітаміни й антиоксиданти рослинної сировини. Серед зазначених продуктів найбільш популярними є комбіновані плодоовочеві сиркові десерти із використанням як основи кисломолочного сиру, головними недоліками яких є низький вміст БАР та наявність у складі різних видів харчових домішок [6; 13; 14].

При виготовленні комбінованих плодоовочевих десертів на основі кисломолочного сиру існують об'єктивні труднощі, які пов'язані:

- з використанням різних видів штучних харчових домішок (загусників, структуроутворювачів, стабілізаторів, барвників, ароматизаторів, трансгенних жирів та ін.), які є шкідливими для організму людини [14–16];

- з використанням натуральних плодоовочевих наповнювачів джемів, повидла, варення, заморожених плодів та овочів (при  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  та ін.) невисокої якості, з низьким вмістом БАР [14–18];

- з дефіцитом на ринку високоякісних натуральних плодоовочевих наповнювачів для збагачення харчових продуктів натуральними БАР [19–21];

- з невисоким терміном зберігання сиркових десертів (36 годин при температурі  $+4\text{...}+6\text{ }^{\circ}\text{C}$  та 14 діб при температурі  $+1\text{...}+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) та ін. [6; 20].

Перераховані труднощі, що виникають при виготовленні плодо-

овочевих сиркових десертів, пов'язані на сьогоднішній день з низьким рівнем життя населення та необхідністю застосування для здешевлення продукції неякісної та штучної сировини, а також харчових домішок. Наявність останніх у складі продуктів призводить до зниження захисних сил організму, алергії, різних видів захворювань і, як наслідок, зменшення тривалості життя.

Труднощі, що виникають при виготовленні плодоовочевих сиркових десертів, спрямованих на оздоровлення населення, пов'язані також з відсутністю в міжнародній практиці принципово нових підходів, ідей, інновацій у вирішенні зазначених проблем. У зв'язку з цим актуальним є розширення асортименту оздоровчих сиркових десертів з використанням натуральних добавок – збагачувачів із плодів та овочів. Крім того, актуальним є пошук і розробка нових інноваційних технологічних прийомів виготовлення плодоовочевих добавок з високим вмістом БАР. Варіантом вирішення зазначених недоліків та труднощів при виготовленні сиркових десертів для здорового харчування може бути використання при виробництві натуральної плодоовочевої сировини. Перспективним є застосування традиційних видів плодоовочевої сировини, що відома своїми лікувально-профілактичними властивостями. До числа таких видів сировини можна віднести: гарбуз, обліпиху, абрикоси, лимони з цедрою, яблука, шпинат, топінамбур та ін.

Крім того, для вирішення проблеми отримання плодоовочевих сиркових десертів оздоровчої дії необхідно знайти та запропонувати унікальні методи переробки плодів та овочів в добавки – наповнювачі для сиркових десертів. Тому слід вважати за перспективну розробку технологій плодоовочевих добавок, які одночасно повинні бути не тільки носіями БАР – збагачувачами, а також виконувати роль структуроутворювачів, гелеутворювачів, барвників, ароматизаторів. Це дасть можливість зменшити або виключити необхідність застосування при виготовленні сиркових десертів штучних харчових домішок. Саме такий підхід запропоновано в даній роботі авторами [7; 19; 20]. Як інновацію при створенні кисломолочних десертів для здорового харчування запропоновано використання кріодобавок та їх новий спосіб виготовлення в формі плодоовочевих дрібнодисперсних заморожених добавок (паст) за допомогою кріогенної обробки сировини. Остання включає кріогенне «шокове» заморожування з використанням рідкого та газоподібного азоту та низькотемпературне подрібнення [7; 8; 22]. Для окремих видів плодоовочевої сировини було встановлено, що застосування кріообробки призводить до

значно менших втрат клітинного соку та БАР при розморожуванні плодів та овочів [23; 24]. Крім того, відмічається краще збереження текстури заморожених плодоовочевих сорбетів (холодних десертів) та пюре [25–28]. Встановлено, що чим більша швидкість заморожування рослинних продуктів, тим краще зберігаються вітаміни та інші БАР [29; 30].

При використанні дрібнодисперсних кріодобавок із плодів та овочів при виготовленні сиркових десертів буде формуватися структура виробів інакше, ніж при використанні традиційних харчових домішок. По-іншому будуть відбуватися біохімічні, ферментативні та окислювальні процеси, що вимагає додаткових досліджень.

При створенні оздоровчих комбінованих десертів із кисломолочного сиру та кріодобавок із плодів, овочів та екстрактів із натуральних прянощів користувалися рекомендаціями ФАО/ВООЗ. Крім того, використовували рекомендації відомих вчених в галузі вітамінізації харчових продуктів та функціональних продуктів [31–33]. Відповідно до вказаних рекомендацій, виходячи з аналізу хімічного складу харчових продуктів можна зробити висновок стосовно їх лікувально-профілактичної дії. До продуктів оздоровчої дії можна віднести продукти, в 100 г яких міститься: 50–70 мг аскорбінової кислоти, 5–6 мг  $\beta$ -каротину, 25–50 мг Р-активних фенольних сполук та ін.

Метою дослідження в роботі була розробка нанотехнології сиркових десертів без застосування харчових домішок шляхом обробки кисломолочного сиру з використанням механолізу казеїн-кальцій-фосфатного комплексу в наноформу без застосування харчових домішок. Це стане можливим за рахунок використання при виготовленні сиркових десертів отриманих за нанотехнологією кріодобавок із топінамбура та інших плодів та овочів як натуральних збагачувачів БАР, загусників, гелеутворювачів, барвників, ароматизаторів.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

– для обробки сирного зерна використати неферментативний каталіз, механоліз казеїн-кальцій-фосфатного комплексу в нанорозмірну форму при гомогенізації, а як збагачувачі БАР, структуроутворювачі, барвники і ароматизатори нових видів сиркових десертів використати плодоовочеві кріодобавки;

– дослідити вплив процесів механодеструкції та механолізу на молекули білку кисломолочного сиру та трансформацію до окремих його складових  $\alpha$ -амінокислот при дрібнодисперсному подрібненні і отримання сиркових десертів в нанорозмірній формі;

– дослідити комплекс БАР ( $\beta$ -каротину, L-аскорбінової кислоти, хлорофілу, фенольних сполук, поліфенолів), пребіотичних речовин в плодоовочевій свіжій сировині та в кріодобавках із неї, отриманих за кріогенною нанотехнологією – як натуральних збагачувачів для кисломолочних десертів;

– розробити рецептури та нанотехнології сиркових десертів для здорового харчування за рахунок збагачення кріодобавками із топінамбура та інших плодів та овочів в нанорозмірній формі та екстрактами із натуральних прянощів.

Дослідження проведено в Харківському державному університеті харчування та торгівлі (ХДУХТ, Україна) на базі науково-дослідної лабораторії «Інноваційних кріо- та нанотехнологій рослинних добавок та оздоровчих продуктів» кафедри харчових технологій продуктів із плодів, овочів і молока та інновацій в здоровому харчуванні. Модельні експерименти при дрібнодисперсному подрібненні кисломолочного сиру знежиреного виконані з використанням дрібнодисперсних подрібнювачів (без застосування холоду) «Robot Coupe» (Франція), «ThermoMix ТМ 5» (Німеччина).

Для кріогенного «шокового» заморожування при отриманні дрібнодисперсних кріодобавок із топінамбура та інших плодів та овочів було використано сучасне кріогенне стендове устаткування, яке є на кафедрі ХДУХТ. Це програмний кріогенний «шоковий» заморожувач з використанням рідкого та газоподібного азоту як хладоагенту та інертного середовища. При цьому, температура в морозильній камері була  $-60$  °С. Плоди, ягоди, овочі заморожували з різними високими швидкостями до різних кінцевих температур в продукті. Для дрібнодисперсного низькотемпературного подрібнення використовували подрібнювач «SIRMAN» (Італія), «Robot Coupe» (Франція).

В дослідженнях використовували свіжу плодоовочеву сировину: топінамбур, гарбуз, шпинат, лимони з цедрою, яблука. Також використовували екстракти із натуральних прянощів і лікарської рослинної сировини: коріандру, меліси, кардамону, кореню цикорію і лимонної цедри (рис. 4.1).

Як критерій оцінки якості кисломолочного сиру (вихідного) та дрібнодисперсної сирної маси використовували масову частку білку. Паралельно контролювали масову частку зв'язаних та вільних  $\alpha$ -амінокислот, а також масову частку жиру та сухих речовин.



Рис. 4.1 – Свіжа плодоовочева та лікарська рослинна сировина: а – топінамбур, б – гарбуз, в – шпинат, г – лимони з цедрою, д – яблука, е – коріандр, є – меліса, ж – кардамон, з – корень цикорію, і – лимонна цедра

В свіжих бульбах топінамбура, плодах та овочах визначали якість за вмістом основних БАР та пребіотичних речовин. Контроль проводили за вмістом БАР:  $\beta$ -каротину, L-аскорбінової кислоти, хлорофілів а і б, низькомолекулярних фенольних сполук; флавонолових глікозидів, дубильних речовин. Крім того, визначали пребіотичні речовини (інулін, білок, пектин), масову частку цукру, органічних кислот та ін.

Основою при виготовленні оздоровчих десертів використано кисломолочний сир, білок якого є повноцінним, містить всі незамінні амінокислоти (лізин, триптофан, лейцин, ізолейцин, метіонін, валін, треонін, фенілаланін) в збалансованій кількості. Недоліком при споживанні кисломолочного сиру є неповне засвоєння білків організмом людини. Це пов'язано з тим, що при тепловій обробці сиру відбувається частковий перехід казеїн-кальцій-фосфатного комплексу у нерозчинну та слоборозчинну форму [6; 10]. У зв'язку з цим, необхідно застосовувати такі технологічні прийоми при виготовленні сиркових десертів, які сприяють деструкції молекул білку до окремих складових. Для цього запропоновано використовувати дрібнодисперсне подрібнення та гомогенізацію сирної маси як кисломолочної основи. Це дає можливість трансформувати значну частину білку до окремих  $\alpha$ -амінокислот, що містяться в легкозасвоюваній формі.

Як інновацію при розробці комбінованих плодоовочевих сиркових десертів використовували розроблені авторами натуральні дрібнодисперсні кріопасті із бульб топінамбура, каротиновмісної сировини (гарбуза), лимонів з цедрою, шпинату, яблук (рис. 4.2). Зазначені кріопасті використані як натуральні збагачувачі БАР, структуроутворювачі, гелеутворювачі, натуральні барвники та ароматизатори. Запропоновано та розроблено технології кріопаст з використанням як інновації криогенного «шокового» заморожування та дрібнодисперсного подрібнення.

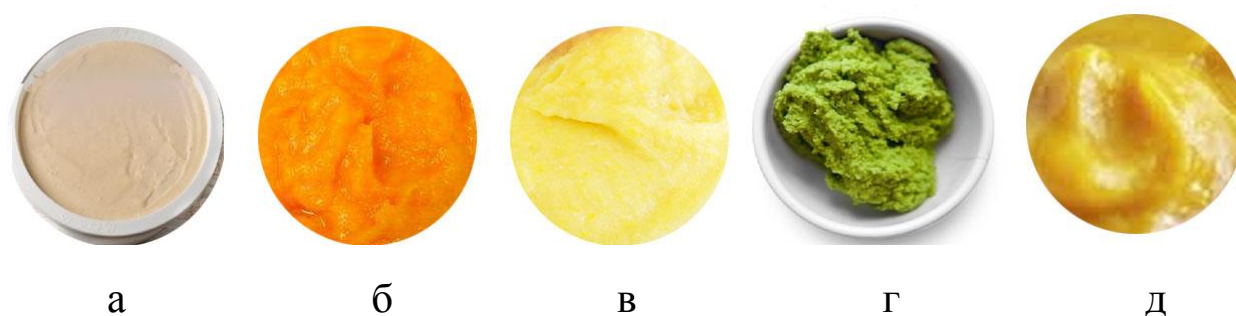
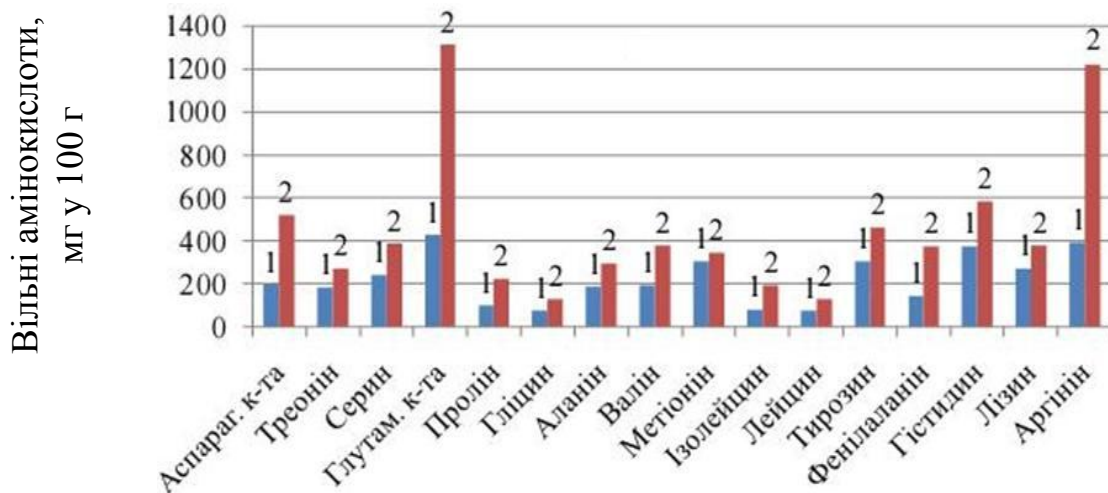


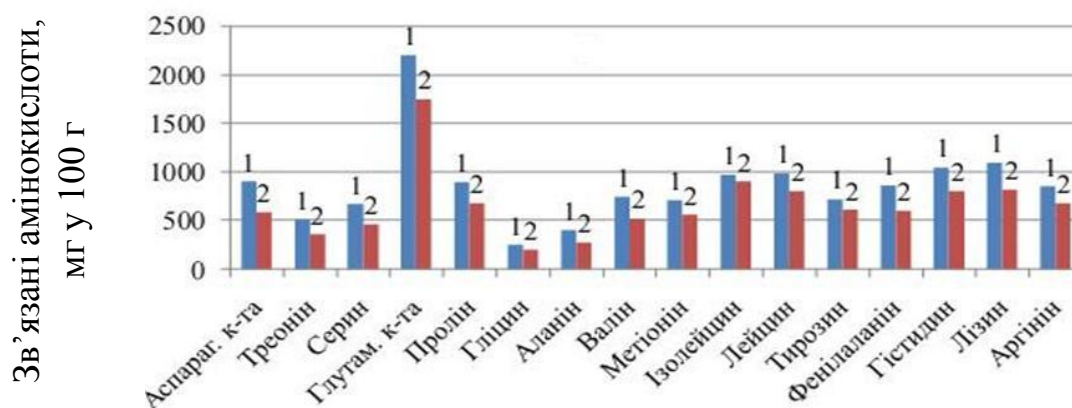
Рис. 4.2 – Дрібнодисперсні кріопасті з натуральної плодоовочевої сировини: а – з топінамбура, б – з гарбуза, в – з лимонів з цедрою, г – зі шпинату, д – з яблук

В роботі розглянуто гомогенізацію як технологічний прийом, який призводить не тільки до отримання гомогенної структури продукту, а також до процесів механодеструкції та руйнування молекул білка до його низькомолекулярних складових ( $\alpha$ -амінокислот). При цьому відбувається збагачення сиркових виробів корисними низькомолекулярними речовинами кисломолочного сиру: збільшується масова частка вільних амінокислот, простих пептидів та ін., які легко засвоюються організмом людини (рис. 4.3).

Показано, що при гомогенізації кисломолочного сиру відбувається значна дезагрегація наноконкомплексів та механодеструкція білків до вільних  $\alpha$ -амінокислот. При подрібненні сирного згустку кількість останніх збільшується в 1,6...3,5 разу (рис. 4.3). Виявлена закономірність була підтверджена при вивченні масової частки окремих  $\alpha$ -амінокислот, що знаходяться, як у зв'язаній, так і у вільній формі за допомогою газорідинної хроматографії на автоматичному аналізаторі амінокислот Т-339 виробництва «Мікротехна» (Чехія).



а



б

Рис. 4.3 – Вплив процесів механодеструкції та механолізу на вміст зв'язаних (а) та вільних (б) амінокислот казеїнат-кальцій-фосфатного комплексу знежиреного кисломолочного сиру під час отримання гомогенізованої сирної маси у нанорозмірній формі: 1 – вихідний сир (сирне зерно); 2 – сир після дрібнодисперсного подрібнення (гомогенізації)

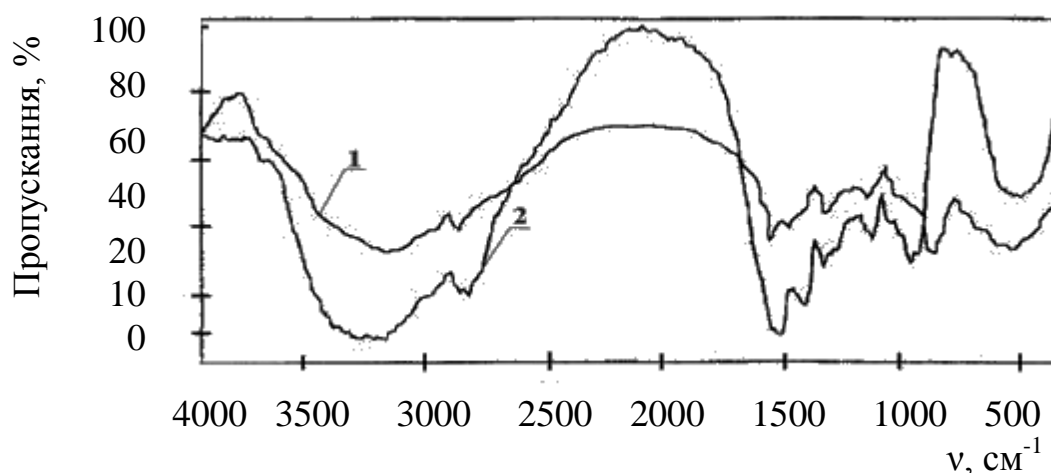
Виявлено, що при гомогенізації кисломолочного сиру відбувається значна механодеструкція та механокрекінг (руйнування) біополімерів. Це призводить до значного зменшення зв'язаних  $\alpha$ -амінокислот (на 25...45%), збільшення масової частки вільних  $\alpha$ -амінокислот (в 1,6...3,5 разу) і органічних кислот. Це свідчить про порушення не тільки четвертинної, третинної структури, а також про руйнування ланцюгів біополімерів білка до окремих амінокислот і вивільнення органічних кислот, тобто про руйнування вторинної і первинної структури білка. Виключення складають вільні амінокислоти метіонін та тирозин, кількість яких збільшується відповідно на 9% та 40% (рис. 4.3).

Отримані закономірності свідчать про те, що гомогенізований кисломолочний сир має більш легкозасвоювану форму, оскільки 28–45%



$\alpha$ -амінокислот білка перейшли із зв'язаної форми у вільну, що значно краще засвоюється організмом людини. Отримана сиркова маса знаходиться в наноструктурованій нанорозмірній формі та значно відрізняються від аналогів. Розмір молекул  $\alpha$ -амінокислот отриманої сиркової маси становить від 0,3 до 1,5 нм. У порівнянні з традиційною сирковою масою, розмір часточок в декілька разів менший, а засвоюваність живими організмами в кілька разів більша. Отримані результати дозволяють по-новому уявити вплив гомогенізації на якість продукту.

Паралельно проводили дослідження за допомогою методу спектрального аналізу (рис. 4.4). В ІЧ-спектрі сирного зерна (1) і подрібненого сиру (2) після гомогенізації простежуються суттєві відмінності в положенні широкої характеристичної смуги поглинання в інтервалах частот 2900...3600, 3590...3650  $\text{cm}^{-1}$ . Останні характерні для валентних коливань ОН-груп міжмолекулярних та внутрішньомолекулярних водневих зв'язків.



Валентні коливання груп, $\text{cm}^{-1}$				
ОН	NH	CH	S-H	C=O
3645...3500	3500...3300	3350...2850	2600...2550	1750...1720
Валентні коливання груп, $\text{cm}^{-1}$				
COOH	CH <sub>3</sub>	C-O-	C=N	S=S
1750...1700	1470...1355	1300...1000	1230...1030	550...450

Рис. 4.4 – ІЧ-спектри: 1 – сирного зерна; 2 – сиркової маси в нанорозмірній формі, отриманої із застосуванням процесів механодеструкції та механолізу при гомогенізації

В гомогенізованому сирі відбувається суттєве зменшення інтенсивності зазначених характеристичних смуг поглинання. Це свідчить про руйнування водневих зв'язків в білкових наноконформах, а та-

кож в наноконформах різних низькомолекулярних сполук з біополімерами та органічними кислотами, ліпідами, мінеральними речовинами, спиртами, кетонами, ароматичними сполуками. Отримані результати узгоджуються із даними, отриманими хімічними методами досліджень. Крім того, відбувається зменшення зв'язаної та збільшення вільної вологи. Так, в області частот  $3300\text{...}3500\text{ см}^{-1}$ , що характерні для валентних коливань груп NH-, які беруть участь у водневих зв'язках, також простежується зменшення інтенсивності спектрів поглинання у кисломолочному сирі після гомогенізації. Це свідчить також про деструкцію не тільки четвертинної, третинної, вторинної та первинної структури біополімеру – казеїну, а також про руйнування водневих зв'язків та механоліз білку до вільних амінокислот при гомогенізації.

В області частот  $3000\text{...}3200\text{ см}^{-1}$ , що характерні для валентних коливань груп CN- в спектрах ароматичних сполук, у гомогенізованому кисломолочному сирі помітні піки цих коливань. Це свідчить про вивільнення ароматичних сполук – продуктів молочнокислого бродіння при отриманні гомогенізованого сиру. Крім того, в області  $2500\text{...}3000\text{ см}^{-1}$  ІЧ-спектру гомогенізованого сиру відбувається збільшення відносної частки в області карбонових кислот, що свідчить про збільшення кількості вільних органічних кислот, які утворились внаслідок відщеплення останніх від біополімерів. З'явився також пік в області частот  $2920\text{...}2850\text{ см}^{-1}$ , що відповідає валентним коливанням  $\text{CH}_3$ -груп та свідчить про вивільнення ароматичних речовин терпеноїдної природи. Відбувається також інтенсивне поглинання в області  $2000\text{...}2500\text{ см}^{-1}$ . Широка смуга в цьому діапазоні свідчить про наявність валентних коливань  $\text{NH}_2$ - і  $\text{NH}_3$ - груп і про збільшення масової частки вільних  $\alpha$ -амінокислот. Показано також збільшення вільних амінокислот у діапазоні –  $1030\text{...}1360\text{ см}^{-1}$ . Отримані методом ІЧ-спектроскопії результати досліджень підтверджують припущення про дезагрегацію та деструкцію казеїн-кальцій-фосфатних комплексів сирних виробів, руйнування структури білка з відщепленням вільних амінокислот, зменшення молекулярної маси білку (майже вдвічі).

Таким чином, за допомогою хімічних та спектроскопічних методів досліджень виявлено вплив процесів механодеструкції, механоактивації та механолізу при дрібнодисперсному подрібненні на казеїн-кальцій-фосфатні комплекси. Крім того, встановлено збільшення вмісту вільних і зменшення зв'язаних амінокислот білка, вміст віль-

них амінокислот під час отримання сиркових виробів в нанорозмірній формі та розкрито механізм цього процесу.

Наступним завданням роботи було вивчення комплексу біологічно активних фітокомпонентів та пребіотичних речовин в плодово-овочевих кріопастах, які були запропоновані для використання як інновації при виготовленні сиркових десертів для здорового харчування. Це дало можливість виключити необхідність застосування традиційних харчових добавок при виробництві сиркових десертів.

Встановлено, що кріопаста із досліджуваних фруктів, ягід, овочів є джерелом унікальних комплексів натуральних біологічно активних фітокомпонентів з превалюючою кількістю низькомолекулярних та високомолекулярних фенольних сполук. Масова частка фенольних сполук в залежності від виду сировини становить від 1% до 2,1% (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Вміст біологічно активних фітокомпонентів та пребіотичних речовин в свіжих плодах та овочах і кріопастах із них (n=3, P≥0,95)

Продукт	Масова частка, мг в 100 г						Масова частка розчинного пектину, %
	β-каротину	Л-аскорбінової кислоти	фенольних сполук (за хлорогеновою кислотою)	фенольних сполук (за рутином)	дубильних речовин (за таніном)	хлорофілів а і в	
Топінам-бур свіжий	0,1	20,4	350,0	240,0	300,0	0	1,9
кріопаста	0,2	35,8	680,2	460,2	540,1	0	7,5
Гарбуз свіжий	11,8	42,3	270,2	62,3	263,2	0	1,1
кріопаста	45,6	102,2	491,4	104,6	436,1	0	4,8
Лимон свіжий	0,2	90,3	120,3	75,0	320,2	0	2,0
кріопаста	0,4	220,4	210,2	132,4	548,4	0	7,7
Яблука свіжі	0,1	70,8	538,2	164,2	365,6	0	1,5
кріопаста	0,2	180,0	980,3	385,1	746,2	0	7,4
Шпинат свіжий	7,2	70,4	338,2	104,2	375,6	850,2	0,9
кріопаста	25,4	180,6	580,3	185,1	740,2	1680,1	15,4

В кріопастах контролювали ті форми фенольних сполук, які мають цілющі властивості (зокрема, рутин, хлорогенова кислота, таніни, кверцетин) та для визначення яких є надійні хімічні методи досліджень, що увійшли в ДСТУ. Показано, що масова частка L-аскорбінової кислоти в 100 г плодоовочевих кріопаст становить від 102 мг в у гарбузовій кріопасті до 220 мг в кріопасті із лимону з цедрою (табл. 4.1). Каротиноїдні кріопасті із гарбуза відрізняються рекордним вмістом  $\beta$ -каротину, масова частка якого в 100 г становить 45,6 мг. Слід зазначити, що, за формулою раціонального і збалансованого харчування, добова потреба організму людини в  $\beta$ -каротині складає 5–6 мг на добу. Тобто в каротиноїдних кріопастах  $\beta$ -каротину міститься до 9 добових потреб. В одній столовій ложці каротиноїдних кріопаст (10 г) міститься добова потреба організму людини в  $\beta$ -каротині. В 100 г кріопасті із шпинату міститься від 850 мг до 1680 мг хлорофілів а і b. Крім того, в плодоовочевих кріопастах міститься значна кількість пребіотичних речовин (пектину, целюлози, білка). Масова частка розчинного пектину становить від 4,8% до 7,7%, целюлози – від 2,5 до 5,0%, білка – від 1,5 до 4,5%.

Встановлені комплекси БАР, що містяться в кріопастах із плодів та овочів визначають їх всебічну лікувально-профілактичну дію на організм людини. Зокрема, зміцнення судин серця і мозку, зміцнення імунної системи, а також детоксикуючу, антиоксидантну, антибактеріальну, протипухлинну дію та ін.

Виявлено також приховані неактивні форми біологічно активних речовин та біополімерів (зокрема, пектину) в свіжих плодах та овочах (в 3–5 разів). Показано, що масова частка БАР (фенольних сполук, дубильних речовин, L-аскорбінової кислоти,  $\beta$ -каротину, хлорофілів а і b) в дрібнодисперсних плодоовочевих кріопастах в 2,5...3,5 разу більше, ніж у свіжих фруктах, ягодах та овочах (табл. 4.1). Отримані плодоовочеві кріодобавки відрізняються від існуючих добавок рекордним вмістом БАР, знаходяться в нанорозмірній формі і не мають аналогів. Нові добавки запропоновано використовувати при виготовленні сиркових десертів для здорового харчування як збагачувачі БАР, структуроутворювачі, гелеутворювачі, натуральні барвники. Використання отриманих кріодабавок при виробництві сиркових десертів дозволило виключити необхідність застосування шкідливих для здоров'я традиційних хімічних харчових домішок.

На основі наноструктурованої гомогенізованої сиркової маси з використанням дрібнодисперсних кріодобавок із каротиновмісних

овочів, а також цитрусових і топінамбура, розроблені рецептури та технології нових сиркових десертів для здорового харчування (помаранчево-жовта лінійка) (рис. 4.5). Десерти «Carotella», «Оранжон», «Caroton», «Світлячок» відрізняються від аналогів рекордним вмістом  $\beta$ -каротину та інших БАР. Крім того, розроблені сиркові десерти з використанням натуральних хлорофіловмісних кріодобавок зі шпинату, а також яблук, лимонів з цедрою та топінамбура (зелена лінійка) (рис. 4.6). Отримані сиркові десерти призначені для здорового харчування та не мають аналогів. Рецептури сиркових десертів містять 5% цукру та 5% вершкового масла, що дозволяє їх віднести до низькокалорійних продуктів.



а

б

в

г

Рис. 4.5 – Розроблена помаранчево-жовта лінійка сиркових десертів для здорового харчування: а – «Carotella», б – «Оранжон», в – «Caroton», г – «Світлячок»



а

б

Рис. 4.6 – Розроблена зелена лінійка сиркових десертів для здорового харчування: а – «Greenella», б – «GreenDay»

Відомо, що сиркові десерти відносяться до продуктів, які швидко псуються. Так, при температурі  $+4...+6$  °С зберігаються 36 годин, при  $0...+2$  °С – 14 діб. Для збільшення строків зберігання сиркових десертів запропоновано використання добавок із натуральних прянощів та лікарської пряноароматичної сировини у вигляді водно-спиртових екстрактів. Як сировину при виготовленні екстрактів використовували: кардамон, коріандр, мелісу, корінь цикорію, лимонну цедру. Відомо, що зазначена сировина містить в своєму складі природні

консерванти, детоксиканти, речовини, що мають бактерицидну та бактеріостатичну дію. Це пов'язано з високим вмістом в них ненасичених ароматичних речовин, фенольних сполук та дубильних речовин.

На основі отриманих результатів досліджень розроблено нанотехнологію плодоовочевих сиркових десертів для здорового харчування. Останні від традиційних відрізняються тим, що включають механічну обробку сирного зерна, яка супроводжується процесами механоактивації та неферментативного каталізу казеїн-кальцій-фосфатного комплексу в нанорозмірну форму (рис. 4.7). Як інновацію під час виготовлення сиркових десертів застосовували плодоовочеві кріодобавки в легкозасвоюваній формі як збагачувачі БАР структуроутворювачі, барвники. Це дало можливість виключити необхідність застосування хімічних харчових домішок та синтетичних добавок.

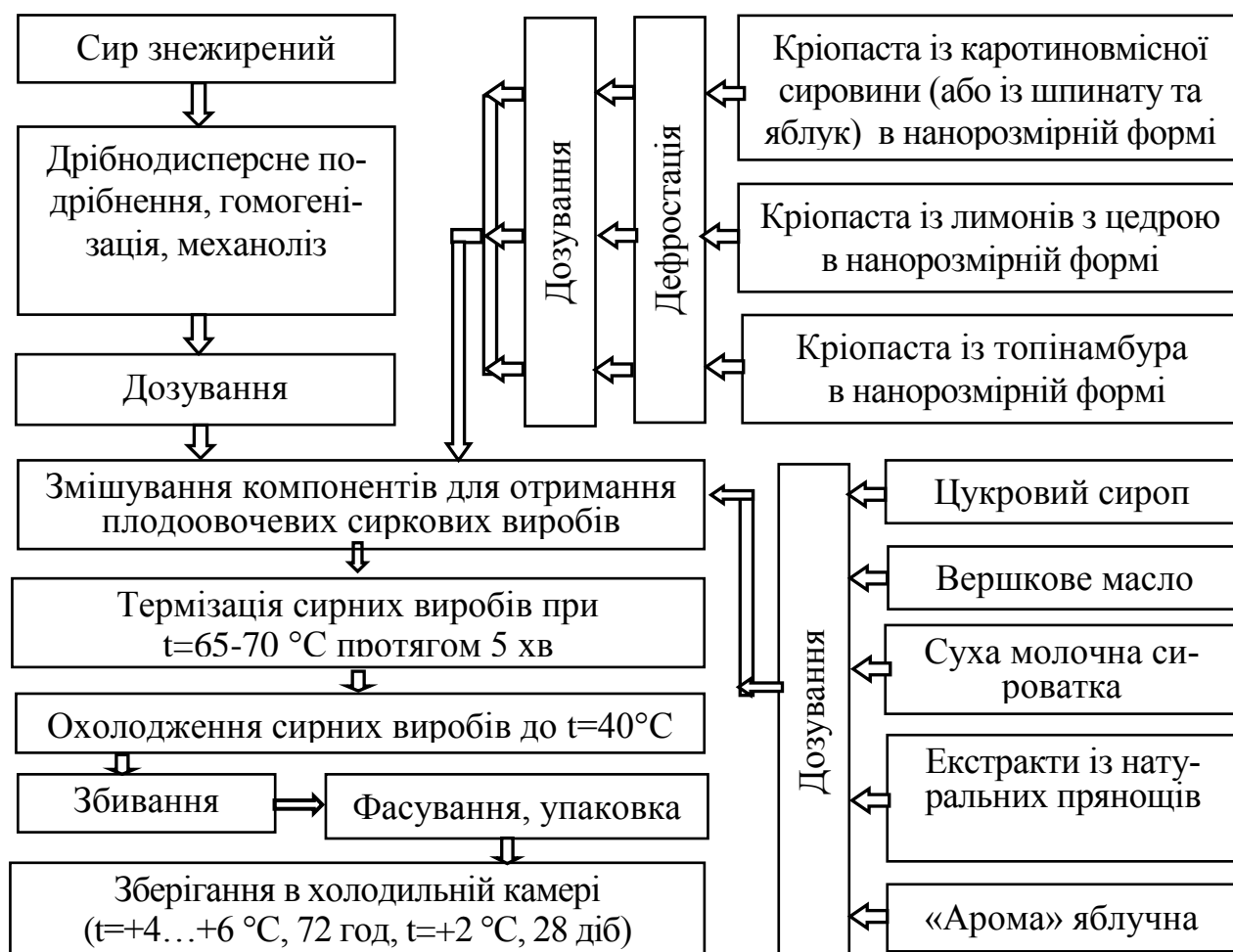


Рис. 4.7 – Принципова технологічна схема нанотехнології виготовлення натуральних сиркових виробів для здорового харчування, збагачених кріодобавками із плодів та овочів та екстрактів із пряно-ароматичної рослинної сировини

Для збагачення БАР та подовження терміну зберігання в сиркові десерти були введені екстракти із натуральних прянощів, що дозволило збільшити термін зберігання в два рази. Експериментально визначено та обґрунтовано раціональні параметри технології, розроблено технологічну схему (рис. 4.7), підібрано обладнання, розроблено нормативну документацію (проекти ТУ, ТІ), проведено апробацію у виробничих умовах.

Вивчено якість нових плодоовочевих десертів за вмістом БАР (табл. 4.2, 4.3). Показано, що плодоовочеві десерти мають оригінальний смак і аромат натурального продукту та натуральний яскраво виражений колір. Крім того, сиркові десерти відрізняються від існуючих рекордним вмістом натуральних БАР ( $\beta$ -каротину, хлорофілу, фенольних сполук, L-аскорбінової кислоти, дубильних речовин) та пребіотичних речовин в розчинній легкозасвоюваній формі.

Показано, що нові десерти містять повноцінний білок (близько 18%), значна частина якого знаходиться в легкозасвоюваній формі у вигляді вільних  $\alpha$ -амінокислот. Крім того, нові види сиркових десертів призначені для здорового харчування, оскільки містять в своєму складі значну кількість БАР, що сприяють зміцненню імунітету. В 100 г сиркових десертів міститься добова потреба в  $\beta$ -каротині (5,0...5,5 мг), хлорофілах (212,0...250,0 мг), низькомолекулярних фенольних сполуках (за рутином – 25,0...28,0 мг). Крім того, в 100 г десертів міститься 1/3 добової потреби в повноцінному білку (18,0...18,9 г) (табл. 4.2, 4.3).

Встановлено, що нові види сиркових десертів містять натуральну L-аскорбінову кислоту. Так, в зелених сиркових десертах її вміст коливається від 28,8 до 32 мг в 100 г, що становить близько 0,5 добової потреби у вітаміні С, а в помаранчево-жовтих десертах – від 18 мг до 30 мг в 100 г, що становить 1/3-1/4 добової потреби.

Слід зазначити, що згідно з прийнятими в більшості країн світу нормами (критеріями) при збагаченні оздоровчих продуктів вітамінами, мінеральними речовинами та іншими БАР порція або 100 г такого продукту повинна забезпечувати організму людини від 25 до 60% рекомендованого добового споживання мікронутрієнтів.

Установлено, що нові сиркові десерти за вмістом БАР перевищують відомі аналоги, а зелена лінійка аналогів не має. Крім того, в них відсутні будь які харчові домішки. Нові сиркові десерти для здорового харчування з рекордним вмістом натуральних БАР рекомендуються для імунопрофілактики населення (особливо, дітей та людей похилого віку).

Відомо, що споживання населенням саме таких натуральних оздоровчих продуктів з високим вмістом БАР є одним із важливих факторів, що сприяло зміцненню здоров'я як дітей, так і людей похилого віку.

Показано, що нові види плодоовочевих сиркових десертів зберігаються в 2 рази довше, ніж традиційні. При температурі +4...+6 С зберігаються протягом 72 годин, а при температурі +2 °С – 28 діб без втрат БАР, що забезпечується повною інактивацією окиснювальних ферментів при їх виробництві та присутності натуральних фіторечовин з консервуючою дією в екстрактах із натуральних прянощів.

Таблиця 4.2

Якість помаранчево-жовтої лінійки оздоровчих  
плодоовочевих сиркових десертів\*

Найменування показника, мг в 100 г	Найменування оздоровчого плодоовочевого сиркового десерту				
	«Carotella»	«Оранжон»	«Caroton»	«Світлячок»	Аналог
β-каротин	5,4±0,2	5,5±0,1	4,0±0,1	5,3±0,1	0
L-аскорбінова кислота	18,2±1,8	31,0±1,0	20,0±1,2	18,5±2,4	2,0±0,1
Фенольні сполуки (за хлорогеновою кислотою)	108,0±4,5	121,1±5,2	106,0±2,5	111,6±3,1	5,2±0,1
Фенольні сполуки (за рутином)	15,2±0,5	5,4±0,2	16,1±0,9	15,8±0,6	0
Дубильні речовини (за таніном)	105,0±2,0	18,2±0,2	125,3±1,7	109,8±1,9	25,4±1,2
Розчинні пектинові речовини	0,9±2,1	1,0±0,1	0,9±0,1	1,0±0,1	0
Целюлоза, %	0,5±0,01	0,6±0,01	0,4±0,01	0,6±0,01	0
Білок, %	18,0±0,2	18,4±0,5	18,2±0,7	18,3±0,5	6,4±0,2
Вільні амінокислоти, %	9,0±0,2	9,2±0,5	9,8±0,5	9,2±0,5	0
Зв'язані амінокислоти, %	9,0±0,2	9,2±0,4	8,4±0,4	9,1±0,4	0
Загальний цукор, %	5,9±0,1	5,3±0,1	5,6±0,1	5,5±0,1	15,0±0,1
Жир, %	5,0±0,1	5,0±0,1	5,0±0,1	5,0±0,1	5,0±0,1
Сухі речовини, %	35,2±0,1	35,6±0,1	35,3±0,1	35,3±0,1	28,0±0,1

\*Примітка: як збагачуючі добавки при виробництві нових видів помаранчево-жовтої лінійки оздоровчих плодоовочевих сиркових десертів використовуються: кріодобавки із топінамбура, гарбуза та лимонів з цедрою в різних співвідношеннях: «Carotella»; «Оранжон»; «Caroton»; «Світлячок»



Таблиця 4.3

Якість зеленої лінійки оздоровчих плодоовочевих сиркових десертів \*

Найменування показника, мг в 100 г	Найменування оздоровчого плодоовочевого сиркового десерту			
	«Green power»	«Green pleasure»	«Green pro»	Аналог
Хлорофіли а і в	250,0±7,5	212,4±7,1	242,6±7,3	0
L-аскорбінова кислота	31,0±1,1	28,8±0,9	32,1±1,2	0
β-каротин	3,0±0,01	2,8±0,01	2,5±0,01	0
Фенольні сполуки (за хлорогеновою кислотою)	132,4±4,1	140,0±4,2	145,4±4,3	0
Фенольні сполуки (за рутином)	25,4±0,8	26,2±0,8	27,1±0,9	0
Дубильні речовини (за таніном)	148,6±4,5	150,2±4,8	145,6±4,2	0
Розчинні пектинові речовини, %	0,9±0,05	1,0±0,01	0,8±0,01	0
Білок, %	18,0±1,0	19,1±0,9	18,8±0,8	6,4
Зв'язані амінокислоти, %	9,5±0,3	9,4±0,2	9,5±0,3	0
Вільні α-амінокислоти, %	9,3±0,2	8,7±0,3	9,0±0,2	0
Загальний цукор, %	6,0±0,01	6,1±0,01	5,9±0,01	15,0±0,5
Жир, %	5,1±0,01	5,0±0,01	5,0±0,01	5,0±0,01
Сухі речовини, %	35,2±0,1	35,6±0,1	35,3±0,1	28,0±0,1

\*Примітка: як збагачуючі добавки при виробництві нових видів зеленої лінійки оздоровчих плодоовочевих сиркових десертів використовуються: кріодобавки зі шпинату, цитрусових, яблук та топінамбура

Методом ІЧ – спектроскопії була підтверджена стабілізуюча дія білків гомогенізованого кисломолочного сиру та пектинових речовин кріопаст із плодоовочевої сировини на формування текстури нових видів сиркових десертів (рис. 4.8).

Виявлено збільшення інтенсивності ІЧ-спектрів дослідних зразків сиркових десертів в області частот від 3000 см<sup>-1</sup> до 3600 см<sup>-1</sup>, характерне для валентних коливань функціональних груп –ОН, які приймають участь в утворенні водневих зв'язків. Збільшення інтенсивності свідчить про підвищену здатність до зв'язування води шляхом утворення водневих зв'язків білків, полісахаридів, зокрема, пектинових речовин плодоовочевих сиркових десертів. Отримані дані корелюють з текстурою нових видів плодоовочевих сиркових десертів, більш густою в порівнянні з аналогом консистенцією сиркових десертів, а також з їх структурно-механічними властивостями.

Встановлено збільшення інтенсивності ІЧ-спектрів в області частот від 1800 см<sup>-1</sup> до 3000 см<sup>-1</sup>. Це свідчить про міжмолекулярну пере-

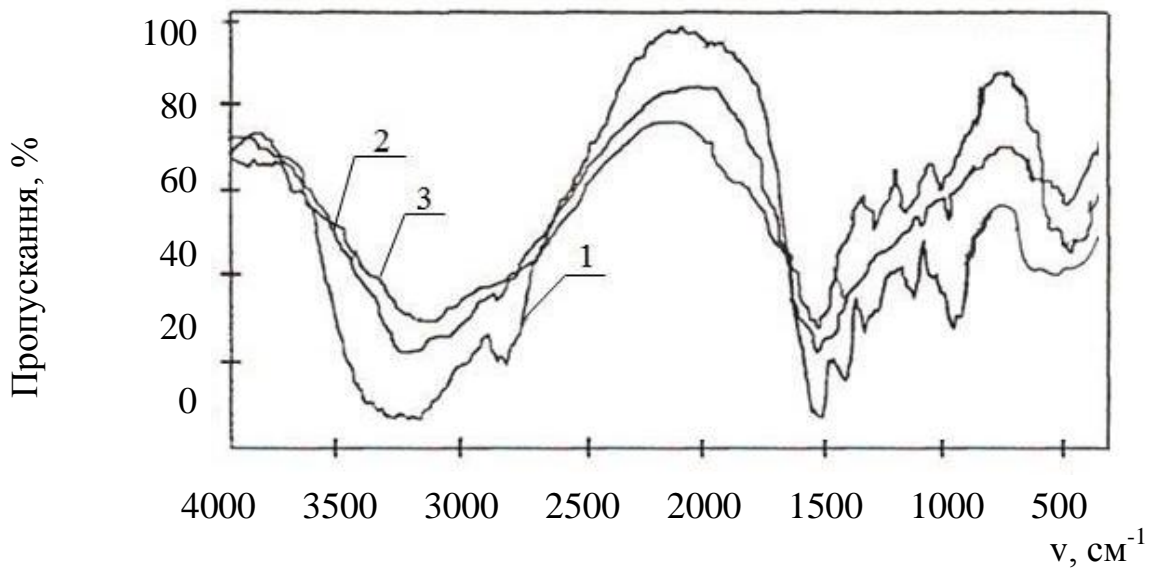


Рис. 4.8 – ІЧ-спектри сиркового десерту (аналог) без добавок (1) та гомогенізованої вихідної сиркової маси отриманої з використанням в якості збагачувача кріодобавки із топінамбура, гарбуза, лимону з цедрою та екстрактів із натуральної пряноароматичної рослинної сировини (2, 3)

будову та комплексоутворення асоціатів і різних комплексів сполук (органічних кислот, зокрема, галактуронової кислоти, білків,  $\alpha$ -амінокислот, спиртів, цукрів, кетонів та ін.). Крім того, збільшення інтенсивності відбувається за рахунок біополімерів (пектину, білків), значна частина яких знаходиться в кріодобавках в нанорозмірній формі, та які здатні до структуроутворення та гелеутворення. Зазначене збільшення інтенсивності свідчить про стабілізуючу дію компонентів кріодобавок.

Новий спосіб та нанотехнології виробництва оздоровчих продуктів – плодоовочевих сиркових десертів пройшли апробацію у виробничих умовах на підприємствах м. Харкова та області (Україна): ТОВ «Богодухівський молзавод», ТОВ «ФМ Хладопром», НПП «КРІАС плюс», ТОВ СУП «Плюс ЛТД».

Переваги даної роботи полягають в тому, що отримані комбіновані плодоовочеві сиркові десерти за вмістом цілющих натуральних БАР (каротиноїдів, хлорофілів, фенольних сполук, поліфенолів, аскорбінової кислоти) і пребіотичних речовин (пектинових речовин, целюлози) перевищують відомі аналоги. Крім того, на відміну від існуючих сиркових десертів в нових видах десертів відсутні хімічні (штучні) харчові домішки.

Таким чином, розроблено новий спосіб та нанотехнології виготовлення комбінованих плодоовочевих сиркових десертів в

нанорозмірній формі з рекордним вмістом БАР. Як інновацію при переробці кисломолочного сиру запропоновано використання механолізу та неферментативного каталізу при гомогенізації, а при виготовленні рослинних наповнювачів для сиркових десертів – кріогенне «шокове» заморожування та дрібнодисперсне подрібнення. Показано, що при дрібнодисперсному подрібненні (гомогенізації) кисломолочного сиру 40–45% зв'язаних  $\alpha$ -амінокислот трансформуються у вільну легкозасвоювану форму. Розмір молекул вільних  $\alpha$ -амінокислот складає від 0,3 до 1,5 нм. Розкрито механізм процесу, який пов'язаний з механокрекінгом (руйнуванням молекул білку до його складових).

Показано, що отримані плодоовочеві кріопасти за вмістом БАР перевищують вихідну сировину в 2,5–3,5 разу, що пояснюється вилученням із сировини прихованих зв'язаних форм. Плодоовочеві кріопасти, які використовуються при виготовленні сиркових десертів виконують роль носіїв БАР, згущувачів, барвників, ароматизаторів. Нові види плодоовочевих сиркових десертів є унікальними за хімічним складом натуральними продуктами, які рекомендуються для імунопрофілактики всіх верств населення.

Отримані результати досліджень дали можливість розробити доступні за ціною сиркові десерти високої біологічної цінності без застосування штучних харчових домішок (загусників, структуроутворювачів, стабілізаторів, барвників, ароматизаторів, трансгенних жирів та ін.), які є шкідливими для організму людини. Крім того, результати досліджень мають наукову та практичну цінність, бо запропонований напрямок глибокої переробки плодів, овочів та кисломолочного сиру у плодоовочеві сиркові десерти для здорового харчування дозволяє максимально використати закладений в сировині біологічний потенціал.

#### **Висновки до розділу 4**

Таким чином, встановлено, що використання неферментативного каталізу, механолізу при обробці сирного зерна призводить до переходу казеїн-кальцій-фосфатного комплексу в нанорозмірну форму під час гомогенізації. Встановлена можливість застосування плодоовочевих кріодобавок під час виробництва сиркових десертів як натуральних збагачувачів БАР, структуроутворювачів та барвників. Це дало можливість виключити необхідність застосування при виробництві

харчових домішок та синтетичних компонентів та отримати нові сиркові десерти з рекордним вмістом БАР, які перевищують відомі аналоги.

Установлено, що при гомогенізації кисломолочного сиру відбувається значна деградація казеїн-кальцій-фосфатних наноконкомплексів та механодеструкція білків до низькомолекулярних складових –  $\alpha$ -амінокислот, пептидів та дипептидів (на 40–45%), що пов'язано з процесами механокрекінгу.

Вивчено комплекс БАР ( $\beta$ -каротину, L-аскорбінової кислоти, хлорофілів а і b, фенольних сполук, дубильних речовин, пребіотичних речовин) в кріопастах із плодів та овочів у порівнянні зі свіжою плодоовочевою сировиною. Показано, що кріопаста містять значну кількість перерахованих БАР і перевищують вихідну сировину в 2,5–3,5 разу. Встановлено, що це пов'язано з наявністю у свіжій сировині значної кількості прихованих зв'язаних з біополімерами форм БАР. Отримані дані суперечать загально прийнятій думці про те, що в рослинній сировині в зв'язаній формі міститься всього 5...10% БАР.

Розроблено рецептури, нанотехнології нових оздоровчих продуктів – сиркових десертів та кріопаст із плодоовочевої сировини для їх виготовлення. Вивчено вміст БАР в сиркових десертах, проведено порівняння з аналогами, встановлено термін зберігання. Показано, що нові види плодоовочевих сиркових десертів для здорового харчування мають оригінальний смак і аромат натурального продукту і відрізняються від аналогів рекордним вмістом БАР, які знаходяться в нанорозмірній формі. В 100 г нових видів десертів міститься добова потреба організму людини в БАР (зокрема, в  $\beta$ -каротині, хлорофілі, фенольних сполуках, дубильних речовинах та ін.) та 1/3...1/4 добової потреби в L-аскорбінової кислоті

#### Список літератури до розділу 4

1. Dietary protein quality evaluation in human nutrition. Report of an FAO Expert Consultation // and agriculture organization of the United Nations Rome, 2013.
2. Strategy on Diet, Physical Activity and Health : report of a Joint WHO/FAO/UNU. Expert Consultation. Geneva : World Health Organization, 2010.
3. Научные основы здорового питания / Тутельян В.А. и др. М. : Издательский дом «Панорама», 2010, – 816 с.
4. Innovation in ice cream manufacturing. Shaking a traditional dairy category. URL: <http://www.allfoodexperts.com/innovation-in-ice-cream-manufacturing-shaking-a-traditional-dairy-category/>

5. Askew K. VERU's `shock-freezing` tech creates ice cream with `more taste, less calories`. 2017. URL: <http://www.foodnavigator.com/Article/2017/10/06/VERU-s-shock-freezing-tech-creates-ice-cream-with-more-taste-less-calories>
6. Новий напрямок глибокої переробки харчової сировини: монографія / Павлюк Р.Ю., Погарська В.В. та ін. Харків: ФАКТ, 2017. 380 с.
7. Development of the nanotechnology for wellness products «Naturesuperfood» fruit and vegetable ice-cream sorbets with a record content of biologically active substances / R. Pavlyuk, V. Pogarskaya, A. Pogarskiy // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. Vol. 6, Issue 11 (96). P. 59-68.
8. Exploring the processes of cryomechanodestruction and mechanochemistry when devising nano-technologies for the frozen carotenoid plant supplements / R. Pavlyuk, V. Pogarska, N. Timofeyeva, L. Bilenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016. Vol. 6, Issue 11(84). P. 39-46.
9. Influence of the processes of steam-thermal cryogenic treatment and mechanolysis on biopolymers and biologically active substances in the course of obtaining health promoting nanoproducts / R. Pavlyuk, V. Pogarskaya, A. Pogarskiy // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 6, Issue 11(90). P. 41-47.
10. Хартманн, У. Очарование нанотехнологии. Faszination Nanotechnologie [Электронный ресурс] / ред.: Л.Н. Патрикеев, пер.: Т.Н. Захарова, У. Хартманн. – 4-е изд. (эл.). – М. : Лаборатория знаний, 2017. – 176 с.
11. T. Joseph M. Morrison Nanotechnologie in Agriculture and Food. anoforum message. [www.nanoforum.org](http://www.nanoforum.org). Institute Nanotechnology, – 15 с.
12. Technology of healthful melted cheese products without melting salt with use freezing and non-enzymatic catalysis / R. Pavlyuk, V. Pogarska, O.Yurieva, L. Skripka T. Abramova // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016. Vol. 5, Issue 11(83). P. 51-61.
13. Marshall, R. T., Goff H.D., Hartel R.W. (2003), Ice Cream. Springer, 371 p.
14. Clarke. C. The Science of Ice Cream, 2015. – 183 p.
15. Fructan stability in strawberry sorbets in dependence on their source and the period of storage / K. Topolska, A. Filipiak-Florkiewicz, A. Florkiewicz, E. Cieslik // European Food Research and Technology. – 2017. Vol. 243, Issue 4. P. 701-709.
16. Yangilar, F. Effects of Green Banana Flour on the Physical, Chemical and Sensory Properties of Ice Cream // Food Technology and Biotechnology. 2015. Vol. 53. P. 315-323.
17. Cassava derivatives in ice cream formulations: effects on physicochemical, physical and sensory properties / De Souza Fernandes D., Leonel M., Del Bem M. S. etc. // Journal of Food Science and Technology. 2017. Vol. 54, Issue 6. P. 1357-1367.
18. The production of ice cream using stevia as a sweetener / C. Ozdemir, A. Arslaner, S. Ozdemir, M. Allahyari. // Journal of Food Science and Technology. 2015. Vol. 52, Issue 11. P. 7545-7548.
19. R. K. Goraya. Enhancing the functional properties and nutritional quality of the ice cream with processed amla (Indian gooseberry) // Journal of Food Science and Technology. 2015. Vol. 52. Issue 12. P. 7861-7871.

20. The effect of cryomechanodestruction on activation of heteropolysaccharide-protein nanocomplexes during the development of nano-technologies of herbal additives / R. Pavlyuk, V. Pogarska, K. Balabai // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Vol. 4, Issue 11 (82). P. 20-28.
21. Studying the complex of biologically active substances in spicy vegetables and designing the nanotechnologies for cryosupplements and nanoproducts with health benefits / R. Pavlyuk, V. Pogarska, O. Cherevko etc. // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 4, Issue 11(94). P. 6–14.
22. The study of BAS complex in chlorophyll-containing vegetables and development of health-improving nanoproducts by a deep processing method / R. Pavlyuk, V. Pogarskaya, V. Mikhaylov, O. Bessarab, A. Pogarskyi, et al. // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 2, Issue 11(92). P. 48–56.
23. Розробка технології наноекстрактів та нанопорошків із прянощів для оздоровчих продуктів / Р. Ю. Павлюк, В. В. Погарська, Л. О. Радченко // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2015. Т. 3, №10(75). С. 54-59.
24. Охлажденные и замороженные продукты / М. Стрингер, К. Деннис; пер. с англ. СПб.: Профессия, 2004. 492 с.
25. Настольная книга по переработке плодоовощной продукции / Н. К. Синха, И. Г. Хью; пер. с англ. СПб.: Профессия, 2014. 912 с., табл., ил. – (Серия: Научные основы и технологии) ISBN 978-5-904757-52-6
26. Pham, Q. T. Freezing time formulas for foods with low moisture content, low freezing point and for cryogenic freezing // *Journal of Food Engineering*. 2013. Vol. 127. P. 85-92. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2013/12/007
27. Saraiva, Jorge A. Landmarks in the historical development of twenty first century food processing technologies / Jorge A. Saraiva, Francisco J. Barba // *Food Research International*. 2017. Vol. 97. P. 318-339.
28. The Effect of Storage Temperature on the Ascorbic Acid Content and Color of Froxen Broad Beans and Cauliflowers and Consumption of electrical Energy during Storage // *Gida. Journal of Food*. 2015. Vol. 11, Issue 5. URL: <https://doaj.org/article/f6cf2689b10743ff95faa483fd8d6956>
29. Min K., Chen. K., Arora R. Effect of short-term versus prolonged freezing on freeze-thaw injury and post-thaw recovery in spinach: Importance in laboratory freeze-thaw protocols // *Environmental and Experimental Botany*. 2014. Vol. 106. P. 124-131.
30. James, S. J. Chilling and freezing / S. J. James, C. James // *Food Safety Management*. 2014. P.481-510. doi: 10/1016/b978-0-12-381504-0.00020-2
31. Капрельянц Л.В. Функциональные продукты: монография. К: Энтер Примс – 1997. 312 с.
32. Спиричев В.Б. Сколько человеку витаминов надо – М: Наука. 1993. – 185 с.
33. Спиричев В.Б. Обогащение пищевых продуктов витаминами и минеральными веществами. / В.Б. Спиричев, Л.Н. Шатнюк, В.М. Позняковский. // *Наука и технология – Новосибирск: Изд-во СГУ*, 2004.

## **РОЗДІЛ 5 ТЕХНОЛОГІЇ ОЗДОРОВЧИХ ПРОДУКТІВ – БІОЙОГУРТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ КРІОДОБАВОК ІЗ ТОПІНАМБУРА ТА КАРОТИНОВМІСНИХ І ЦИТРУСОВИХ ПЛОДІВ**

Розроблено технології оздоровчих продуктів – біойогуртів з унікальними характеристиками. Нові продукти відрізняються високим вмістом натуральних біологічно активних речовин – фітокомпонентів плодів та овочів (гарбуза, лимонів з цедри, яблук, топінамбура), зокрема,  $\beta$ -каротину, фенольних сполук, дубильних речовин, аскорбінової кислоти, тобто речовин, що мають антиоксидантні та імуномодулюючі властивості. Крім того, відрізняються високим вмістом пребіотичних речовин – розчинних пектинових речовин, целюлози та білків. Останні в біойогуртах виконують роль збагачувачів натуральними БАР, натуральних загусників, структуроутворювачів, стабілізаторів текстури та барвників. Це дає можливість виключити необхідність застосування при виробництві біойогуртів харчових домішок та синтетичних добавок. Технології виготовлення біойогуртів засновані на застосуванні як інновації кріодобавок із плодоовочевої сировини (топінамбура, гарбуза, цитрусових) в нанорозмірній формі з рекордним вмістом біологічно активних речовин (БАР), масова частка яких в кріодобавках в 2,5 – 4,5 разів більше, ніж у вихідній свіжій сировині. Отримання останніх засновано на комплексній дії на сировину кріогенного «шокового» заморожування з використанням рідкого та газоподібного азоту та кріодеструкції при дрібнодисперсному подрібненні. Крім того, для збагачення БАР та подовження термінів зберігання нових біойогуртів в рецептурі введені фітоекстракти із натуральних прянощів та лікарської рослинної сировини (ехінацеї, коріандру, буркуну, орегано). Як основу при виробництві біойогуртів використували молочну сироватку. Нові види біойогуртів за вмістом БАР перевищують відомі аналоги і мають в 2,0 рази подовжений термін зберігання, ніж контрольні зразки. Відпрацьовані технологічні режими виробництва біойогуртів на стендовому напівпромисловому устаткуванні. Нові йогурти рекомендуються для впровадження у виробництво на великих харчових підприємствах, в закладах ресторанного бізнесу та для індивідуального харчування.

Сьогодні в міжнародній практиці одним із пріоритетних напрямів у здоровому харчуванні є розробка функціональних оздоровчих продуктів

[1-3]. Серед них особливе місце займають комбіновані кисломолочно-рослинні продукти, які користуються попитом у різних країнах світу [4; 5]. Особливо надається перевага молочно-рослинним низькокалорійним напоям, зокрема біойогуртам з використанням плодоовочевих наповнювачів, пребіотиків, молочної сироватки та ін. [6]. Але, при цьому, використовуються різні харчові добавки (загусники, барвники, ароматизатори тощо), які негативно впливають на організм людини при їх споживанні [7; 8]. У зв'язку з цим, іде безперервний пошук високоякісних натуральних добавок з високим вмістом біологічно активних речовин (БАР), які зміцнюють захисні сили організму людини. У зазначеному напрямку над проблемою створення як високоякісних рослинних добавок – наповнювачів, так і біойогуртів з їх використанням, працюють вчені та підприємці в провідних країнах світу: Японії, США, Німеччині, Нідерландах та ін. [5; 9; 10].

У провідних країнах світу для зміцнення здоров'я населення використовують комбіновані молочно-рослинні оздоровчі продукти (особливо з фруктів, ягід, овочів та молока) [2; 3; 6].

Загальновідомо, що до числа важливих продуктів для імунопрофілактики і зміцнення здоров'я населення відносяться комбіновані ферментовані кисломолочні продукти (біойогурти, біокефіри, сиркові десерти та ін.) [1; 5; 6]. Відомо, що імунітет людини на 80% залежить від стану здоров'я кишечника. Кисломолочні продукти містять корисні молочнокислі бактерії, які підтримують кишечник людини в здоровому стані. Серед зазначених продуктів найбільш популярними у населення багатьох країн світу є кисломолочні напої – біойогурти. Головними недоліками їх є низький вміст БАР та наявність у складі різних видів харчових домішок [11–13]. Аналіз даних літератури показав, що при виробництві кисломолочних напоїв – біойогуртів існують об'єктивні труднощі, які пов'язані:

- із дефіцитом високоякісних натуральних рослинних наповнювачів (плодоовочевих) і екстрактів із лікарської та пряноароматичної сировини для збагачення йогуртів натуральними БАР [14; 15];

- із застосуванням різних видів штучних харчових домішок (стабілізаторів, структуроутворювачів, барвників, ароматизаторів, гелеутворювачів, загусників та ін.), які є шкідливими для організму людини [14–16];

- із застосуванням плодоовочевих наповнювачів невисокої



якості та низьким вмістом БАР (повидла, підварок, джемів, варення, заморожених плодів та овочів невисокої якості та з низьким вмістом БАР) [14–16].

Використання у складі біойогуртів перерахованих харчових домішок та наповнювачів невисокої якості приводить до отримання продукції невисокої якості, вживання якої не сприяє підвищенню захисних сил організму людини, може викликати алергію та різні види захворювань.

Дослідження щодо розробки нових видів йогуртів присвячено, в основному, вивченню впливу різних видів добавок на фізико-хімічні та органолептичні показники [17–19]. Зокрема, на фізико-хімічні показники симбіотичного ферментованого біойогурту отриманого на основі сої з використанням сольового гідророзчинного екстракту (10%), фруктоолігосахаридів (3%), сахарози (12%) та пребіотиків *Paracasei*, *Lactobacillus rhamnosus* ( $5 \times 10^6$  КУО/мл) [17]. Крім того, на органолептичні та фізико-хімічні показники замороженого йогурту отриманого шляхом збагачення ягодами обліпихи та пребіотиками [18]. Цілий ряд робіт присвячено збагаченню біойогуртів, в тому числі і в замороженому стані (як альтернатива морозиву) з додаванням різних ягід, зокрема, чорної смородини та гаультерії [18, 19, 20], відходів апельсинів [12], ягід мерінги [20], у яких також вивчались в основному фізико-хімічні та органолептичні показники. Значна частина робіт присвячена використанню різних загусників при виготовленні біойогуртів, зокрема, карагінану, ксантану [11, 12], кукурудзяного крохмалю [11], пребіотиків, зокрема рисових висівок [21]. Аналіз даних свідчить про те, що для вирішення зазначених проблем та недоліків при виготовленні комбінованих біойогуртів високої якості, що сприяють зміцненню імунітету, необхідні принципово нові підходи, ідеї, інновації.

Варіантом вирішення зазначених проблем та недоліків при виготовленні біойогуртів для здорового харчування запропоновано використання як інновації розроблених авторами натуральних кріозаморожених плодоовочевих нанодобавок [5; 9; 10] та наноекстрактів із натуральних прянощів і нетрадиційної рослинної лікарської сировини (НРЛС) [5; 21]. Плодоовочеві нанодобавки (з топінамбура, гарбуза, яблука, лимонів з цедрою) пропонується використовувати як натуральні збагачувачі БАР, структуроутворювачі, барвники та стабілізатори текстури біойогуртів [21]. Наноекстракти використовували при виробництві біойогуртів для збагачення БАР та подовження

терміну зберігання [5; 21; 23]. Запропоновані плодоовочеві нанодобавки не мають аналогів, на 70% знаходяться в нанорозмірній формі [5; 21] та мають унікальні властивості. За вмістом БАР та пребіотичних речовин плодоовочеві нанодобавки перевищують якість вихідної (свіжої) сировини в 2,5...5,0 разів. Застосування перерахованих нанодобавок дає можливість виключити необхідність застосування при виробництві біойогуртів традиційних харчових хімічних добавок та синтетичних добавок. При використанні дрібнодисперсних кріодобавок із плодів, овочів в нанорозмірній формі та екстрактів із прянощів і НРЛС при виготовленні біойогуртів буде формуватися текстура та відбуватимуться біохімічні, ферментативні, фізико-хімічні процеси дещо інакше, ніж при використанні традиційних харчових домішок, що вимагає додаткових досліджень.

Як основу при виготовленні нових видів біойогуртів використовували молочну сироватку. Вона є побічним продуктом при виробництві сиру кисломолочного, твердих сичугових сирів, молочно-білкових концентратів та відноситься до вторинних сировинних ресурсів молочних підприємств. Молочна сироватка є джерелом незамінних амінокислот, вітамінів групи В, унікальним продуктом з природним набором життєво важливих мінеральних сполук, який здатен підтримувати водно-сольовий баланс організму, підвищувати його опірність до хвороб, покращувати фізіологічні процеси, освіжати та втамовувати спрагу. Порівняно з молоком, речовини, що розчинені в молочній сироватці, легше всмоктуються організмом, оскільки дифузія електролітів з водних розчинів відбувається швидше, ніж з жирових емульсій [5].

Незважаючи на корисні властивості, на сьогоднішній день в міжнародній практиці існує проблема раціонального використання молочної сироватки, оскільки сироватка швидко псується і потребує негайної переробки або утилізації. Значна частина підприємств не в змозі переробити молочну сироватку, що залишилася після виробничого циклу, в повному обсязі. Тому сироватку передають на годівлю худоби або зливають в каналізацію, що наносить не виправної шкоди природі.

Основною складовою частиною сухих речовин молочної сироватки є лактоза, масова частка якої становить понад 70%. Особливістю лактози є уповільнений гідроліз в кишечнику, у зв'язку з чим обмежуються процеси бродіння, нормалізується життєдіяльність корисної кишкової мікрофлори, уповільнюються процеси

гниття та газоутворення. Крім того, молочний цукор в найменшому ступені використовується в організмі для жирутворення. Молочна сироватка є низькокалорійним продуктом з вмістом сухих речовин близько 5%. Тому молочна сироватка та продукти з неї традиційно є незамінними в харчуванні літніх людей, людей з надмірною вагою та з малим фізичним навантаженням [5].

Використання молочної сироватки як основи для виробництва комбінованих кисломолочних напоїв представляється найбільш доступним та доцільним. На сьогоднішній день на ринку України майже повністю відсутні напої на основі молочної сироватки. Технології та рецептури напоїв на основі сироватки знаходяться на стадії розробки або тільки наближаються до стадії впровадження. Зазвичай для покращення смаку та підвищення харчової та біологічної цінності молочної сироватки в напої вносять цукор, плодово-ягідні соки та сиропи, пряноароматичні добавки, вітаміни, різноманітні білкові добавки рослинного та тваринного походження, інші наповнювачі [5].

Метою роботи є розробка інноваційної технології оздоровчих кисломолочних напоїв – біойогуртів з високим вмістом БАР з використанням натуральних кріозаморожених плодовоовочевих нанодобавок із топінамбура та іншої плодовоовочевої сировини та наноекстрактів із натуральних прянощів і лікарської рослинної сировини (ЛРС).

Для досягнення мети необхідно було вирішити наступні задачі:

- вивчити якість, амінокислотний склад та амінокислотний скор молочної сироватки, як основної сировини для виготовлення біойогуртів;

- вивчити комплекс БАР натуральних плодовоовочевих кріодобавок із топінамбура, гарбуза, лимонів з цедрою, яблук як збагачувачів БАР, структуроутворювачів текстури йогуртів, гелеутворювачів та барвників;

- вивчити вміст біологічно активних речовин в екстрактах із натуральних прянощів та НЛРС (ехінацеї, коріандру, буркуну, орегано), отриманих з використанням кріоподрібнення сировини перед екстракцією;

- розробити технологію оздоровчих біойогуртів на основі молочної сироватки, плодовоовочевих кріодобавок в нанорозмірній формі та наноекстрактів із натуральних прянощів та лікарської сировини;

- вивчити закономірності та механізми формування стабільної

дисперсної текстури та зберігання БАР при виготовленні комбінованих молочно-рослинних напоїв.

Дослідження проведено в Харківському державному університеті харчування та торгівлі (ХДУХТ, Україна) на базі науково-дослідної лабораторії «Інноваційних кріо- та нанотехнологій рослинних добавок та оздоровчих продуктів» кафедри харчових технологій продуктів із плодів, овочів і молока та інновацій в оздоровчому харчуванні та кафедри готельно-ресторанного бізнесу Одеської національної академії харчових технологій.

При створенні комбінованих біойогуртів використовували молочну сироватку виробництва ЗАТ «Куп'янський молочно-консервний комбінат» (м. Куп'янськ, Харківська обл., Україна) як основу, свіжу плодоовочеву сировину (моркву, лимони з цедрою, яблука, бульби топінамбура) та отримані з них дрібнодисперсні кріодобавки в формі заморожених паст. Також використовували екстракти із натуральних прянощів і нетрадиційної лікарської рослинної сировини (коріандру, буркуну, орегано, ехінацеї).

Як критерії оцінки якості біойогуртів та молочної сироватки були прийняті наступні показники: масова частка білку, зв'язаних та вільних  $\alpha$ -амінокислот (незамінних та замінних), жиру, органічних кислот.

У свіжих плодах та овочах, кріонанодобавках та в комбінованих молочнорослинних напоях контролювали масову частку L-аскорбінової кислоти,  $\beta$ -каротину, фенольних сполук (за хлорогеновою кислотою та рутином), поліфенолів – дубильних речовин (за таніном) та пребіотичних речовин (загальний вміст пектину, розчинний пектин, целюлозу, інулін). Визначали також масову частку цукру, органічних кислот та сухих речовин. Більш детально матеріали та методи досліджень, а також методики визначення показників досліджуваних зразків наведені в роботі [5].

Вивчення якості молочної сироватки, яку використовували як основу при виготовленні нових біойогуртів показало, що масова частка сухих речовин становила від 5 до 5,4%. Останні представлені молочним цукром (3,5%) та білком (1,1...1,2%). Крім того, в сироватці міститься незначна кількість жиру (0,2...0,3%) та мінеральних речовин (0,6...0,7%).

Проведено дослідження амінокислотного складу молочної сироватки (таблиця 5.1). Встановлено, що білки сироватки на 89,0% представлені амінокислотами, що знаходяться у зв'язаному в білкових

молекулах стані та на 11,0% – амінокислотами у вільному стані, що утворюють надмолекулярні структури білкових молекул. Встановлено, що в 100 г молочної сироватки загальний вміст амінокислот становить 1103,1 мг, з яких 121,3 мг – амінокислоти, що знаходяться у вільному та 981,8 мг – у зв'язаному стані.

Таблиця 5.1

Амінокислотний склад молочної сироватки – основи для отримання комбінованих кисломолочних напоїв біойогуртів (n=3, P≥0,95)

№ з/п	Найменування амінокислоти	Масова частка амінокислот, мг в 100 г		Сумарний вміст амінокислот, мг в 100 г	% амінокислот, що знаходяться у вільному стані до сумарного вмісту АК
		у зв'язаному стані	у вільному стані		
1	Валін	66,1	11,0	77,1	14,3
2	Триптофан	12,4	0	13,1	0
3	Лізин	68,3	10,9	79,2	13,8
4	Треонін	43,9	7,7	51,6	14,9
5	Метіонін	18,5	3,8	22,3	17,8
6	Цистин	37,7	0,5	38,2	1,3
7	Ізолейцин	64,6	0,8	65,4	1,2
8	Лейцин	82,8	7,5	90,3	8,3
9	Фенілаланін	41,5	3,7	45,2	8,1
10	Тирозин	46,6	1,2	47,8	2,5
11	Аспарагінова кислота	77,8	10,7	88,5	12,1
12	Серін	49,7	13,1	62,8	20,8
13	Глутамінова кислота	170,4	5,5	175,9	3,1
14	Пролін	59,9	26,7	86,6	30,8
15	Гліцин	40,6	6,2	46,8	13,2
16	Аланін	51,9	6,0	57,9	10,4
17	Гістидин	22,1	5,9	28,0	21,2
18	Аргінін	26,3	0,1	26,4	0,2
Всього:		981,8	121,3	1103,1	11,0

Вивчення амінокислотного скору молочної сироватки показало, що білок є біологічно повноцінним (таблиця 5.2). Лімітуючі амінокислоти у його складі відсутні. У порівнянні з ідеальним білком амінокислотний скор дослідженої молочної сироватки, відповідно до шкали ФАО/ВОЗ, за усіма незамінними амінокислотами становить від

117,3% (для треоніну, лейцину) до 157,1% (для сумарної кількості метіоніну та цистину).

Таблиця 5.2

Амінокислотний скор молочної сироватки – основи для отримання комбінованих кисломолочних напоїв – біойогуртів (n=3, P≥0,95)

Найменування амінокислот	Масова частка амінокислоти, мг в 1 г білку		Амінокислотний скор, %
	ідеальний білок (за шкалою ФАО/ВОЗ)	білок сироватки молочної	
Валін	50,0	70,1	140,2
Триптофан	10,0	11,9	119,0
Лізін	55,0	72,0	130,9
Треонін	40,0	46,9	117,3
Метіонін+цистин	35,0	55,0	157,1
Ізолейцин	40,0	59,5	148,8
Лейцин	70,0	82,1	117,3
Фенілаланін+тирозин	60,0	84,5	140,8

Наступним завданням роботи було вивчення біологічного комплексу фітокомпонентів плодоовочевих кріодобавок (із моркви, лимонів з цедрою, яблук, бульб топінамбура) в нанорозмірній формі, які розроблено авторами роботи для збагачення широкого асортименту продуктів для здорового харчування (таблиця 5.3).

Показано, що плодоовочеві кріодобавки за вмістом БАР в 2,5...4,5 разу перевищують вихідну свіжу сировину (таблиця 5.3). Нові кріодобавки від традиційних відрізняються рекордним вмістом натуральних фітокомпонентів, зокрема низькомолекулярних та високомолекулярних фенольних сполук. Так, масова частка низькомолекулярних фенольних сполук коливається від 0,4 до 1,2%, поліфенолів – дубильних речовин – від 0,41 до 0,75% (таблиця 5.3). Як відомо, зазначені речовини є потужними натуральними антиоксидантами та мають імуномодулюючі, детоксикуючі, протипухлинні властивості, зміцнюють судини серця і мозку та мають консервуючу, бактерицидну дію. В кріодобавці з моркви міститься рекордна кількість натурального β-каротину. 100 г кріодобавки з моркви містять у своєму складі до восьми добових норм потреби організму людини в каротині – 40,2 мг (при добовій потребі 5,0...6,0 мг). В 100 г кріодобавки із лимонів з цедрою міститься близько трьох добових норм потреби організму людини в L-аскорбіновій кисло-

Таблиця 5.3

Характеристика біологічного комплексу фітокомпонентів  
плодоовочевих кріодобавок в нанорозмірній формі – збагачувачів  
нових біоїогуртів (n=3, P $\geq$ 0,95)

Продукт	Масова частка, мг у 100 г					Масова частка, %		
	L-аскорбінової кислоти	$\beta$ -каротину	фенольних сполук (за ру- тином)	фенольних сполук (за хло- рогеновою кислотою)	дубильних речовин (за таніном)	загального пектину	розчинного пектину	целюлози
Гарбуз свіжий	19,2	11,5	72,4	165,0	245,2	2,0	1,2	2,0
Кріодобавка з гарбуза	40,5	40,2	130,2	285,6	420,4	8,2	4,4	1,5
Лимони з цед- рою свіжі	85,4	0,2	78,6	145,2	342,4	2,9	2,1	3,0
Кріодобавка із лимонів із це- дрою	215,6	0,4	142,4	250,4	570,2	8,6	7,5	2,1
Яблука свіжі	72,0	0,1	170,2	560,2	420,6	2,8	1,5	1,7
Кріодобавка із яблук	165,2	0,2	325,6	970,4	750,4	7,7	6,8	1,5
Топінамбур (бу- льби) свіжий	22,4	0,1	235,0	370,6	280,4	1,8	1,3	1,4
Кріодобавка із бульб топіна- мбура	41,2	0,2	400,1	685,47	520,1	5,8	5,2	1,1

ті (215,6 мг). В 100 г кріодобавки із яблук та лимонів з цедрою міститься 2,5 добові потреби (відповідно, 165 мг в 100 г та 215 мг в 100 г) дорослої людини в аскорбінової кислоті.

Крім того, показано, що в плодовоочевих кріодобавках містяться пребіотичні речовини (пектини, целюлоза), що мають структуроутворюючі властивості. Так, масова частка загального пектину становить від 1,8 до 8,6%, розчинного пектину – від 1,4 до 7,5%, целюлози – від 1,1 до 3,0%.

Наявність встановленого в плодовоочевих кріодобавках комплексу БАР свідчить про їх потенційні лікувально-профілактичні властивості. Зокрема, зміцнення захисних сил організму (тобто зміцнення імунітету), детоксикуючі, антиоксидантні, антибактеріальні та протизапальні властивості. Наявність в плодовоочевих

кріодобавках БАР, а також пребіотичних та структуроутворюючих речовин дає можливість виключити необхідність використання при виробництві біойогуртів з їх застосуванням традиційних харчових хімічних добавок (структуроутворювачів, гелеутворювачів, загусників, барвників, збагачувачів БАР).

Запропоновані нові види плодоовочевих кріодобавок відрізняються від існуючих добавок-наповнювачів для біойогуртів рекордним вмістом БАР, знаходяться в легкозасвоюваній нанорозмірній формі та не мають аналогів [5; 24]. Механізми процесів, які відбуваються під час отримання плодоовочевих кріодобавок, що знаходяться в нанорозмірній формі, відображено в монографіях [4; 5; 24].

На наступному етапі вичено вміст біологічно активних речовин в екстрактах із натуральних прянощів та НЛРС (ехінацеї, коріандру, буркуну, орегано), отриманих з використанням кріоподрібнення сировини перед водно-спиртовою екстракцією. Зазначені екстракти були використані при виробництві біойогуртів для збагачення БАР та як джерело речовин, що мають консервуючу дію.

Відомо, що виготовлені за класичною технологією кисломолочні напої – біойогурти відносяться до продуктів, що швидко псуються. Термін зберігання при температурі +4...+6 °С становить 36 годин, при 0...+2 °С – 7...10 діб. Для збільшення терміну зберігання біойогуртів та збагачення БАР запропоновано використовувати добавки із натуральних прянощів (коріандру, буркуну, орегано) та нетрадиційної рослинної лікарської сировини (ехінацеї) у вигляді водно-спиртових екстрактів, які знаходяться в нанорозмірній формі. Відомо, що зазначена рослинна сировина містить в своєму складі речовини з консервуючою, антиоксидантною та детоксикуючою дією. Це пов'язано з високим вмістом в них ненасичених реакційноактивних фенольних сполук, дубильних речовин – поліфенолів, ароматичних речовин терпеноїдної природи та інших фітокомпонентів[4, 6].

Екстракти виготовлялись за розробленим фахівцями кафедри методом, що включає застосування кріогенного дрібнодисперсного подрібнення при попередній підготовці рослинної сировини до екстрагування. Використання кріогенного подрібнення рослинної сировини до екстрагування, у порівнянні з традиційним методом підготовки сировини, дає змогу значно збільшити (в 10...15 разів) швидкість екстрагування та збільшити (в 2,0 рази) ступінь вилучення екстрактивних БАР [5].

Проведено вивчення вмісту фітокомпонентів в екстрактах із коріандру, ехінацеї, орегано та буркуну. Дослідні екстракти відрізня-



ються високим вмістом розчинних біологічно активних фітокомпонентів (таблиця 5.4), які знаходяться в нанорозмірній формі. Показано, що в 100 мл наноекстрактів масова частка ароматичних речовин становить від 138,0 до 202,3 мг тіосульфату натрію, низькомолекулярних фенольних сполук (за хлорогеновою кислотою) – від 250,8 до 1260,4 мг, флавонолових глікозидів (за рутином) – від 85,6 до 385,6 мг, дубильних речовин – від 308,2 до 458,6 мг. Найбільш високим вмістом фенольних сполук відрізнялися екстракт ехінацеї та буркуну, ароматичних речовин – екстракт орегано (таблиця 5.4). Масова частка сухих речовин в наноекстрактах коливалася від 2,0 до 5,4%, що в 2,0 рази більше, ніж при використанні традиційного подрібнення [5] при підготовці рослинної сировини до екстракції.

Таблиця 5.4

Вміст біологічно активних фітокомпонентів в екстрактах із натуральних прянощів і нетрадиційної лікарської рослинної сировини (n=3, P≥0,95)

Фіто-екстракт	Масова частка, мг в 100 мл					Сухі речовини, %
	ароматичних речовин (за числом аромату), мг тіосульфату натрію	фенольних сполук (за хлорогеновою кислотою)	флавонолових глікозидів (за рутином)	вільних катехинів (за d-катехином)	дубильних речовин (за таніном)	
із ехінацеї	168,2	1260,4	385,6	67,8	458,6	5,4
із коріандру	138,0	250,8	85,6	42,0	308,2	2,0
із буркуну	174,6	1092,4	108,6	55,6	417,3	5,2
із орегано	202,3	1044,6	97,2	48,9	380,7	5,1

При створенні оздоровчих біойогуртів на основі молочної сироватки, кріодобавок із плодоовочевої сировини та наноекстрактів із натуральних прянощів та лікарської сировини керувались рекомендаціями FAO/WHO. Крім того, використовували рекомендації відомих вчених в галузі вітамінізації харчових та функціональних продуктів [25; 26; 27]. Відповідно до зазначених рекомендацій, виходячи із аналізу вмісту БАР харчових продуктів, можна зробити висновок стосовно їх лікувально-профілактичних властивостей. До продуктів оздоровчої дії відносяться продукти в 100 г яких міститься від 1/2 до добової потреби людини в БАР, яка становить: 50,0...70,0 мг аскорбінової кислоти, 5,0...6,0 мг β-каротину, 25,0...50,0 мг Р-активних фенольних сполук та ін.

На основі молочної сироватки з використанням натуральних рослинних нанодобавок (плодоовочевих кріодобавок та екстрактів із натуральних прянощів і нетрадиційної рослинної лікарської сировини) розроблено рецептури і технологію нових кисломолочних напоїв – йогуртів для здорового харчування (рис. 5.1).

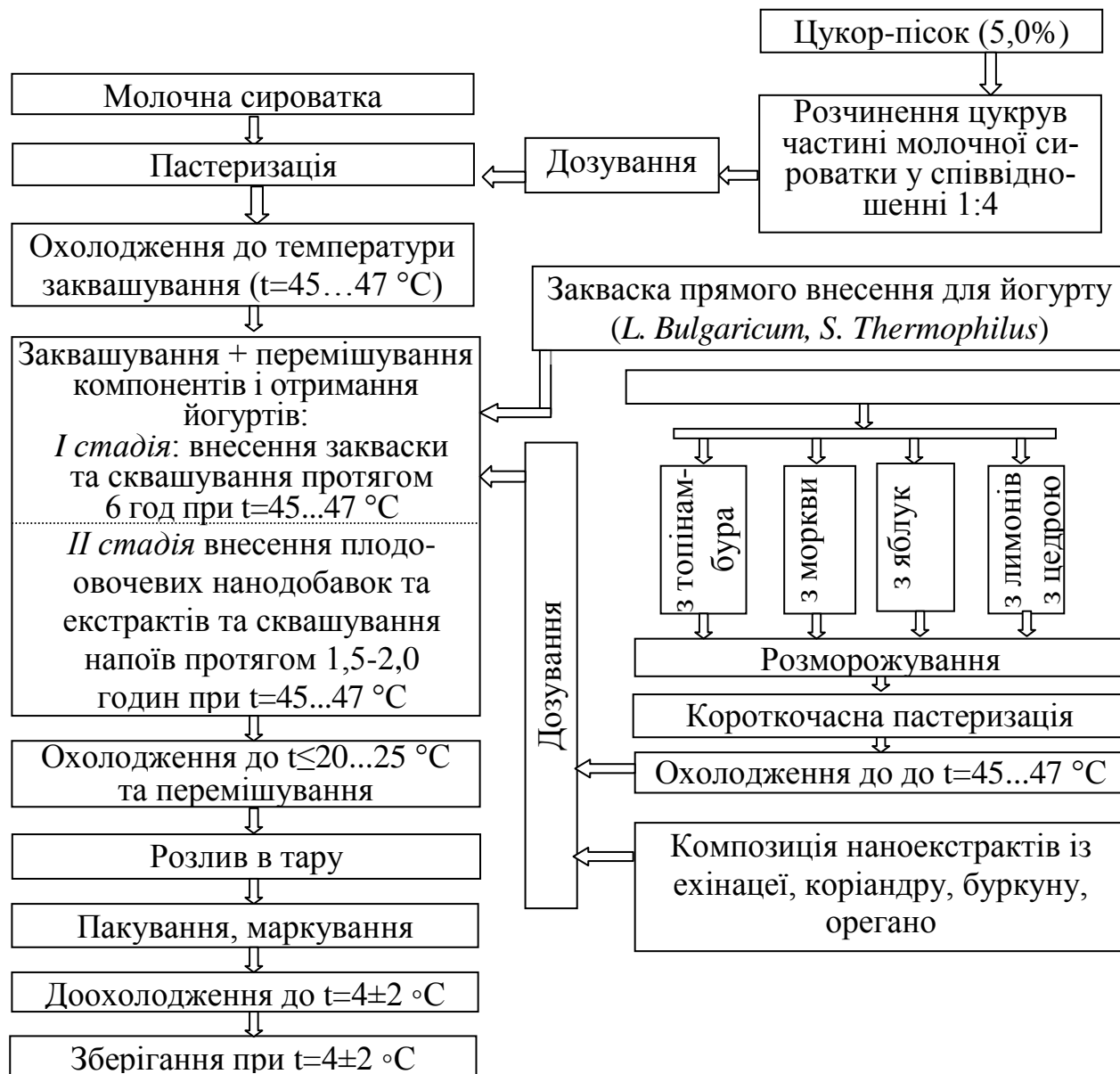


Рис. 5.1 – Технологічна схема виробництва комбінованих кисломолочних напоїв – біойогуртів на основі молочної сироватки з використанням дрібнодисперсних кріодобавок із плодовоовочевої сировини та наноекстрактів із натуральних прянощів і лікарської сировини

Розроблено біойогурти «Carotinka», «Carotella», «Оранжон», що відрізняються між собою кількістю та співвідношенням плодовоовочевих кріодобавок та екстрактів із натуральних прянощів і нетрадицій-

ної лікарської сировини та у порівнянні з аналогами мають рекордний вміст  $\beta$ -каротину, фенольних антиоксидантних сполук, дубильних речовин (таблиця 5.5).

Таблиця 5.5

Вивчення біологічно активного комплексу нових оздоровчих біойогуртів, виготовлених з використанням рослинних кріонанодобавок із топінамбура та іншої плодоовочевої сировини (n=3, P $\geq$ 0,95)

Назва показника	Біойогурти			Аналог – йогурт «Яблуко-кориця» (ЗАТ «Галичина»)
	«Carotinka»	«Carotella»	«Оранжеон»	
$\beta$ -каротин, мг в 100 мл	3,5 $\pm$ 0,2	3,0 $\pm$ 0,1	2,5 $\pm$ 0,1	0
Фенольні сполуки (за хлорогеновою кислотою), мг в 100 мл	37,2 $\pm$ 1,5	45,3 $\pm$ 2,2	48,0 $\pm$ 3,2	0
Дубильні речовини (за таніном), мг в 100 мл	94,2 $\pm$ 5,6	102,3 $\pm$ 7,2	110,2 $\pm$ 8,2	0
L-аскорбінова кислота, мг в 100 мл	31,0 $\pm$ 0,5	32,9 $\pm$ 1,0	35,1 $\pm$ 0,7	3,0 $\pm$ 0,1
Пектинові речовини, %	1,3 $\pm$ 0,05	1,2 $\pm$ 0,01	1,1 $\pm$ 0,01	0,9 $\pm$ 0,05
Інулін, %	1,2 $\pm$ 0,05	1,1 $\pm$ 0,02	1,0 $\pm$ 0,01	0
Целюлоза, %	0,7 $\pm$ 0,01	0,6 $\pm$ 0,01	0,4 $\pm$ 0,01	0,2 $\pm$ 0,01
Білок, %	1,5 $\pm$ 0,04	1,4 $\pm$ 0,02	1,3 $\pm$ 0,01	1,1 $\pm$ 0,02
Жир, %	2,5 $\pm$ 0,02	2,5 $\pm$ 0,02	2,5 $\pm$ 0,01	2,5 $\pm$ 0,01
Загальний цукор, %	6,9 $\pm$ 0,03	6,8 $\pm$ 0,02	6,7 $\pm$ 0,02	6,8 $\pm$ 0,02
Сухі речовини, %	13,0 $\pm$ 0,1	12,8 $\pm$ 0,1	12,6 $\pm$ 0,1	12,0 $\pm$ 0,1

Нові біойогурти мають померанчево-жовтий колір, приємний смак та натуральний аромат та виготовлені без використання харчових добавок та синтетичних компонентів.

Рецептури біойогуртів відрізняються кількістю внесених кріодобавок із каротинвмісної сировини (моркви), цитрусових (лимонів) та інуліновмісної сировини (топінамбура). Сумарна кількість плодоовочевих кріодобавок в рецептурах йогуртів становила від 20,0 до 22,0%, серед яких каротиноїдна добавка із моркви складала від 8,0 до 10,0%. Кількість екстрактів із натуральних прянощів та лікарської сировини (коріандру, буркуну, орегано, ехінацеї у співвідношенні 1:1:1:1) була обрана відповідно до рекомендацій МОЗ України в кількості 25,0–30,0 літрів на 1 т.

Експериментально визначено та обґрунтовано раціональні параметри технології. На напівпромисловому стендовому устаткуванні, яке

є на кафедрі, розроблено технологію та технологічну схему виробництва біоїогуртів з використанням натуральних рослинних нанодобавок (рис. 5.1). Виготовлення біоїогуртів проводили резервуарним способом. В рецептуру вводили 5,0% цукру. В охолоджену до температури 45-47 °С пастеризовану молочну сироватку з цукром вносили закваску прямого внесення для йогурту, до складу якої входили чисті культури термофільного стрептококу (*Streptococcus Thermophilus*) та болгарської палички (*Lactobacillus Bulgaricum*) у кількості 5 кг на 1 т. Сквашування проводили в 2 етапи. На першому етапі проводили сквашування молочної сироватки з цукром протягом 6 годин. На другому етапі в резервуар для сквашування вносили заздалегідь підготовлені (розморожені та короткочасно пропастеризовані) плодоовочеві нанодобавки в кількості 20,0–22,0%. Паралельно в резервуар для сквашування вводили композицію наноекстрактів із натуральних прянощів та ехінацеї. На другому етапі тривалість процесу сквашування становила 1,5–2,0 години. Отриманий йогурт охолоджували при перемішуванні до +20...+25 °С та проводили розлив у тару і пакування (рис. 5.1). Загальна тривалість процесу сквашування становила близько 8 годин. Масова частка сухих речовин в нових йогуртах складала від 12,7 до 14,1%, органічних кислот – 1,8-2,0%, загального цукру – 6,7-6,9%, жиру – 2,5%.

У таблиці 5.5 наведено результати дослідження якості отриманих комбінованих молочнорослинних напоїв – біоїогуртів за вмістом БАР. У порівнянні з аналогом (йогурт питний пастеризований із смаком «Яблуко-кориця» (2,5% жирності) вітчизняного виробника ЗАТ «Галичина»). Нові плодоовочеві біоїогурти мають оригінальний смак і аромат натурального продукту та натуральний яскраво виражений колір. Крім того, нові біоїогурти відрізняються від існуючих рекордним вмістом натуральних фітокомпонентів – БАР ( $\beta$ -каротину, фенольних сполук, дубильних речовин, L-аскорбінової кислоти). Біоїогурти в своєму складі містять також пребіотичні речовини – пектинові речовини в розчинній формі, інулін, целюлозу (таблиця 5.5). За вмістом БАР нові види йогуртів можуть бути віднесені, відповідно до рекомендацій МОЗ України, до продуктів оздоровчої дії.

Нові біоїогурти зберігаються в 2 рази довше, ніж йогурти виготовлені за традиційною технологією. Термін зберігання розроблених біоїогуртів при температурі +4...+6 °С становить 72 години, при температурі +2 °С – 15...18 діб без втрат БАР [5]. Це забезпечується повною інактивацією окислювальних ферментів в продукті при їх виробництві та присутністю натуральних фіторечовин з консервуючою дією.

Нові біойогурти призначені для здорового харчування. У складі йогуртів містяться  $\alpha$ -амінокислоти, що знаходяться в легкозасвоюваній формі, розмір молекул яких коливається від 0,5 нм до 1,5 нм (їх близько 1,5%). Біойогурти в своєму складі містять значну кількість БАР, які знаходяться в нанорозмірній формі та сприяють зміцненню імунітету. В 100 мл нових біойогуртів міститься 80% добової потреби в  $\beta$ -каротині (2,5-3,5 мг) та 50% добової потреби в L-аскорбіновій кислоті (31,0...35,1 мг в 100 мл). В склянці йогурту (200 мл) міститься 1,5 добові потреби в  $\beta$ -каротині (5,0...7,0 мг) та добова потреба в L-аскорбіновій кислоті (62,0...70,2 мг) (рис. 5.2).

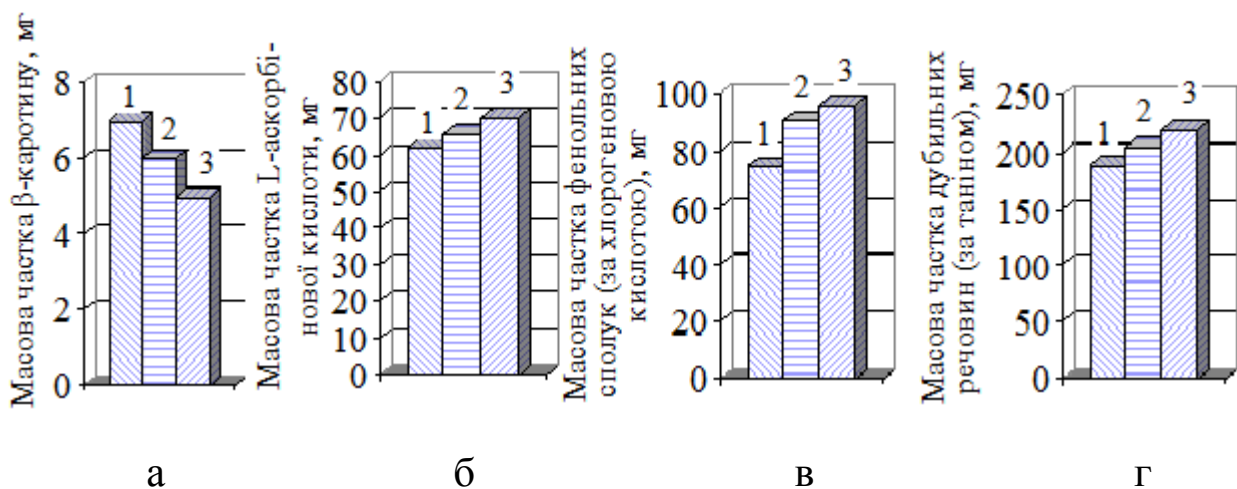


Рис. 5.2 – Масова частка БАР у стакані (200 мл) нових оздоровчих біойогуртів: а – вміст  $\beta$ -каротину, мг; б – вміст L-аскорбінової кислоти, мг; в – вміст фенольних сполук з Р-вітамінними властивостями (за хлорогеновою кислотою), мг; г – вміст дубильних речовин (за таніном), мг; 1 – біойогурт «Carotinka»; 2 – біойогурт «Carotella»; 3 – біойогурт «Оранжон»

Крім того, в біойогуртах міститься значна кількість фітокомпонентів, таких як фенольні сполуки, які є природними детоксикантами, антиоксидантами та імуномодуляторами, кількість яких значно перевищує добову потребу. Показано, що в біойогуртах знаходяться також натуральні структуроутворювачі (пектин, інουλін, целюлоза), що одночасно є пребіотичними речовинами, цілющі властивості яких добре відомі (таблиця 5.5).

Методом ІЧ-спектроскопії підтверджено комплексоутворюючу та стабілізуючу дію білків, пектинів та целюлози, які знаходяться в активній нанорозмірній формі на формування текстури біойогуртів (рис. 5.3).

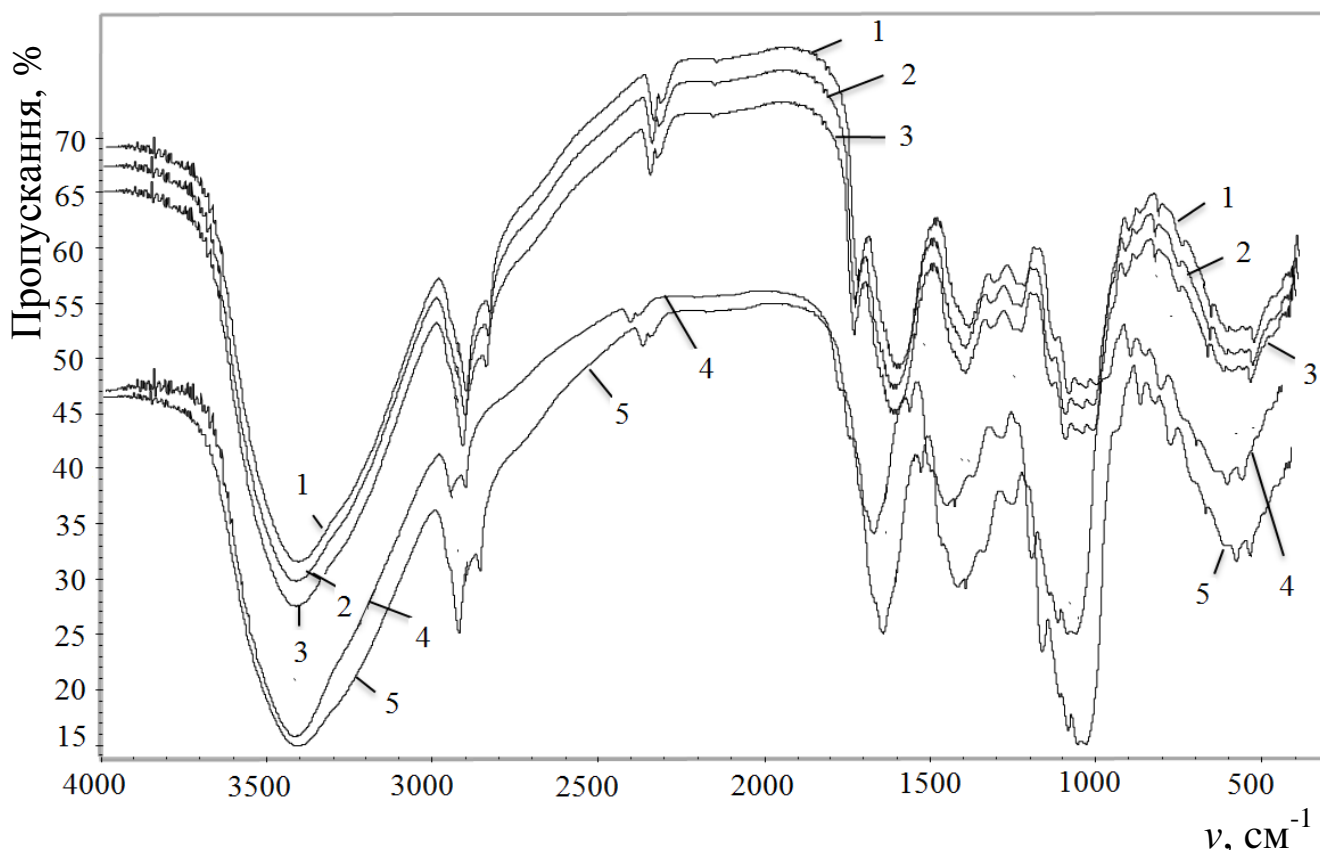


Рисунок 5.3 – ІЧ спектри кисломолочних оздоровчих напоїв – біойогуртів на основі молочної сироватки з використанням натуральних рослинних нанодобавок в порівнянні з йогуртом-аналогом та молочною сироваткою – основою, де: 1 – біойогурт «Carotinka», 2 – «Carotella», 3 – «Оранжон», 4 – йогурт «Яблуко-кориця»(ЗАТ «Галичина»), 5 – молочна сироватка

Встановлено збільшення інтенсивності ІЧ-спектрів дослідних зразків біойогуртів в області частот від  $3000\text{ см}^{-1}$  до  $3600\text{ см}^{-1}$ , які характерні для валентних коливань функціональних груп  $-\text{OH}$ , що приймають участь в утворенні водневих зв'язків. Збільшення інтенсивності свідчить про підвищену здатність до зв'язування води шляхом утворення водневих зв'язків білків, полісахаридів, зокрема пектинових речовин, інуліну, целюлози та їх наноконкомплексів плодовоовочевих нанодобавок, які є одним із основних компонентів біойогуртів. Отримані дані корелюють з текстурою нових видів комбінованих плодовоовочевих кисломолочних напоїв – біойогуртів, більш густою в порівнянні з аналогами консистенцією біойогуртів, а також з їх структурно-механічними властивостями.

Виявлено також збільшення інтенсивності ІЧ-спектрів в області частот від  $1800\text{ см}^{-1}$  до  $3000\text{ см}^{-1}$ . Це збільшення відбувається за рахунок збагачення йогуртів різними компонентами рослинних – біополімерів в наноформі: мономерів білку, пектину, целюлози та інш. (зо-

крема,  $\alpha$ -амінокислот, галактурованої кислоти, глюкози, фруктози та інш.). Це свідчить про міжмолекулярну перебудову та комплексоутворення асоціатів молекул та різних наноконструкцій сполук зазначених біополімерів та низькомолекулярних БАР в наноформі, які здатні до структуроутворення та гелеутворення. Визначене збільшення інтенсивності свідчить про стабілізуючу дію компонентів рослинних нанодобавок при виготовленні біоїогуртів на текстуру продукту.

Розроблені технології виробництва комбінованих плодоовочевих біоїогуртів апробовано на підприємствах м. Харкова та області (Україна): ТОВ «Богодухівський молзавод», НПП «КРІАС Плюс».

## Висновки до розділу 5

Встановлено можливість використання молочної сироватки як основного компоненту при виготовленні кисломолочних напоїв – біоїогуртів, збагачених плодоовочевими дрібнодисперсними кріодобавками з високим вмістом БАР та наноекстрактами із натуральних прянощів та лікарської сировини. Показано, що масова частка сухих речовин молочної сироватки складала 5,4%, із них молочного цукру – 3,5%, білку – 1,1...1,2%, жиру – 0,2...0,3%, мінеральних речовин – 0,6...0,7%. Показано, що білок молочної сироватки є повноцінним, лімітуючи амінокислоти відсутні. В порівнянні з ідеальним білком амінокислотний скор дослідженої молочної сировини, відповідно до шкали ФАО/ВООЗ за усіма незамінними амінокислотами становить від 117,3 до 157,1%.

Показано, що плодоовочеві кріодобавки (з топінамбура, гарбуза, лимонів з цедрою та яблук) за вмістом БАР в 2,5...4,5 разу перевищують вихідну свіжу сировину та знаходяться в нанорозмірній формі. Нові кріодобавки від традиційних відрізняються рекордним вмістом натуральних фітокомпонентів, зокрема, низькомолекулярних та високомолекулярних фенольних сполук. Так, масова частка низькомолекулярних фенольних сполук коливається від 0,4 до 1,2%, поліфенолів – дубильних речовин – від 0,42 до 0,75%. Зазначені речовини є потужними натуральними антиоксидантами та мають імуномодулюючі, детоксикуючі, протионкологічні властивості. Зміцнюють судини серця і мозку та мають консервуючу, бактерицидну дію. Встановлено, що в кріодобавці з гарбуза міститься рекордна кількість натурального  $\beta$ -каротину. Так, в 100 г кріодобавки з гарбуза міститься до восьми добових норм потреби організму людини в каротині – 40,2 мг (при добовій потребі 5,0...6,0 мг). Показано, що в 100 г кріодобавки із ли-

монів з цедрою міститься біля трьох добових норм потреби організму людини в L-аскорбіновій кислоті (215,6 мг). Встановлено, що в 100 г кріодобавки із яблук міститься 2,5 добові потреби (165 мг) дорослої людини в аскорбіновій кислоті. Показано також, що в плодоовочевих кріодобавках містяться пребіотичні речовини, що мають структуроутворюючі властивості. Так, масова частка загального пектину становить до 8,6%, із них розчинного пектину – до 7,5%, целюлози – до 3,0%. Наявність в плодоовочевих кріодобавках БАР, а також пребіотичних та структуроутворюючих речовин дає можливість виключити необхідність використання при виробництві біойогуртів з їх застосуванням традиційних хімічних харчових домішок (структуроутворювачів, гелеутворювачів, загусників, барвників, збагачувачів БАР).

Показано, що екстракти коріандру, ехінацеї, орегано та буркуну відрізняються високим вмістом розчинних біологічно активних фітокомпонентів, які знаходяться в нанорозмірній формі. Показано, що в 100 мл наноекстрактів масова частка ароматичних речовин становить від 138,0 до 202,3 мг тіосульфату натрію, низькомолекулярних фенольних сполук (за хлорогеновою кислотою) – від 250,8 до 1260,4 мг, флавонолових глікозидів (за рутином) – від 85,6 до 385,6 мг, дубильних речовин – від 308,2 до 458,6 мг. Найбільш високим вмістом фенольних сполук відрізнялися екстракт ехінацеї та буркуну, ароматичних речовин – екстракт орегано. Масова частка сухих речовин в наноекстрактах коливалася від 2,0 до 5,4%, що в 2,0 рази більше, ніж при використанні традиційного подрібнення при підготовці рослинної сировини до екстракції. Екстракти були використані при виробництві біойогуртів для збагачення БАР та як джерело речовин, що мають консервуючу дію з метою подовження терміну зберігання йогуртів.

На основі молочної сироватки з використанням натуральних рослинних нанодобавок (плодоовочевих кріодобавок та екстрактів із натуральних прянощів і нетрадиційної рослинної лікарської сировини) розроблено технологію нових кисломолочних напоїв – йогуртів для здорового харчування з рекордним вмістом БАР, пребіотичних та структуроутворюючих речовин. Експериментально визначено, відпрацьовано та науково обґрунтовано раціональні параметри технології на напівпромисловому стендовому устаткуванні та розроблено технологічну схему виробництва натуральних біойогуртів для здорового харчування з використанням рослинних нанодобавок, що дало можливість виключити необхідність застосування при виробництві штучних харчових хімічних домішок.



Показано, що нові плодоовочеві біойогурти мають стабільну текстуру та яскраво виражений помаранчево-жовтий колір. Установлено, що нові біойогурти відрізняються від існуючих аналогів рекордним вмістом рослинних біологічно активних речовин ( $\beta$ -каротину, фенольних сполук, дубильних речовин, L-аскорбінової кислоти) та натуральних структуроутворювачів (пектину, целюлози, інуліну), що одночасно є пребіотичними речовинами, які знаходяться в наноструктурованій формі. В 100 г біойогуртів міститься 0,5 – 1 добової потреби в перерахованих БАР. Вони рекомендуються для оздоровчого харчування та імунопрофілактики населення. Вивчені закономірності і розкрито механізми формування стабільної дисперсної текстури та зберігання БАР при виготовленні комбінованих молочнорослинних напоїв – біойогуртів з використанням плодоовочевих нанодобавок та наноекстрактів із натуральних прянощів та лікарської сировини без застосування харчових хімічних домішок і синтетичних компонентів. Нові йогурти рекомендуються для впровадження у виробництві на великих харчових підприємствах, в закладах ресторанного господарства, а також для використання в індивідуальному харчуванні.

#### Список літератури до розділу 5

1. Strategy on Diet, Physical Activity and Health: report of a Joint WHO/FAO/UNU. Expert Consultation (2010). Geneva: World Health Organization.
2. Dietary protein quality evaluation in human nutrition. Report of an FAO Expert Consultation // Food and agriculture organization of the united nations Rome, 2013. URL: <http://www.fao.org/ag/humannutrition/35978-02317b979a686a57aa4593304ffc17f06.pdf>
3. Nauchnye osnovy zdorovogo pitaniya / Tutel'yan V. A. et. al. Moscow: Izdatel'skiy dom «Panorama». 2010. 816 p.
4. Энциклопедия питания: в 10 т. Т. 5. Биологически активные добавки / под. общ. ред. Р. Ю. Павлюк; сост.: Р. Ю. Павлюк и др. Х.: Мир Книг. 2017. – 406 с.
5. Павлюк Р. Ю. та ін. Новий напрямок глибокої переробки харчової сировини: монографія. Х.: Факт. 2017. – 380 с. (Серія «Інновації при переробці плодів, овочів і молока»).
6. Pavlyuk R., Pogarskaya V., Balabai E., Pogarskiy A., Stukonozhenko T. Development of nanotechnologies for curd desserts and fruit and vegetable cryo-additives for their preparation as BAS enrichers, structure-forming agents, and colorants // Східно-Європейський журнал передових технологій. 2019. № 3/11(99). С. 13–22. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.169646>
7. Innovation in ice cream manufacturing. Shaking a traditional dairy category. URL: <http://www.allfoodexperts.com/innovation-in-ice-cream-manufacturing-shaking-a-traditional-dairy-category/>
8. Askew K. VERU's 'shock-freezing' tech creates ice cream with 'more taste, less calories'. 2017. URL: <https://www.foodnavigator.com/Article/2017/>

10/06/VERU-s-shock-freezing-tech-creates-ice-cream-with-more-taste-less-calories

9. Influence of the processes of steam-thermal cryogenic treatment and mechanolysis on biopolymers and biologically active substances in the course of obtaining health promoting nanoproducts / R. Pavlyuk, V. Pogarska, A. Pogarskiy // Східно-Європейський журнал передових технологій. 2017. Vol. 6, Is. 11 (90). P. 41–47. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.117654>

10. Exploring the processes of cryomechanodestruction and mechanochemistry when devising nano-technologies for the frozen carotenoid plant supplements / R. Pavlyuk, V. Pogarska, N. Timofeyeva, L. Bilenko // Східно-Європейський журнал передових технологій. 2016. Vol. 6, Is. 11 (84). P. 39–46. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.86968>

11. Skryplonek K., Henriques M., Gomes D., Viegas J., Mituniewicz-Małek A. Characteristics of lactose-free frozen yogurt with  $\kappa$ -carrageenan and corn starch as stabilizers // Journal of Dairy Science. 2019. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16556>

12. Mohsin A., Yanxia Luo H. N., Wei Y. et. al. Qualitative improvement of camel milk date yoghurt by addition of biosynthesized xanthan from orange waste // LWT – Food Science and Technology. 2019. Vol. 108. P. 61–68. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.03.039>

13. Marshall R. T., Goff H. D., Hartel R. W. Ice Cream. Springer. 2003. 371 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0163-3>

14. Goraya R. K., Bajwa U. Enhancing the functional properties and nutritional quality of ice cream with processed amla (Indian gooseberry) // Journal of Food Science and Technology. 2015. Vol. 52, Is. 12. P. 7861–7871. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1877-1>

15. Fructan stability in strawberry sorbets in dependence on their source and the period of storage / Topolska K., Filipiak-Florkiewicz A., Florkiewicz A., Cieslik E. // European Food Research and Technology. 2017. Vol. 243, Is. 4. P. 701–709. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00217-016-2783-0>

16. Clarke C. The Science of Ice Cream. Unilever, 2015. 183 p.

17. Development of a Soy-Based Synbiotic Beverage / Evangelista S. R., Ghiselli G., Filho F. M. // Food and Nutrition Sciences. 2012, Vol. 3, No. 8, 8 p. DOI: [10.4236/fns.2012.38148](https://doi.org/10.4236/fns.2012.38148)

18. Novel frozen yogurt production fortified with sea buckthorn berries and probiotics / A. Terpou, A. Papadaki, L. Bosnea, M. Kanellaki, N. Kopsahelis // LWT – Food Science and Technology. 2019. Vol. 105: P. 242-249. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.02.024>

19. Antioxidant properties of a yogurt beverage enriched with Salal (*Gaultheria shallon*) berries and blackcurrant (*Ribes nigrum*) pomace during cold storage / V. Raikos, H. Ni, H. Hays, & V. Ranawana // Beverages. 2018. Vol. 5(1), [2]. DOI: <https://doi.org/10.3390/beverages5010002>

20. Moringa extract enhances the fermentative, textural, and bioactive properties of yogurt / T. Zhang, C. H. Jeong, W. N. Cheng et. al. // LWT – Food Science and Technology. 2019. Vol. 101, P. 276-284. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.010>

21. Rice bran improve probiotic viability in yoghurt and provide added antioxidative benefits / T. Demirci, K. Aktaş, D. Sözeri et. al. // Journal of Functional Foods. 2017. Vol. 36, P. 396–403. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.07.019>

22. Нанотехнології «NatureSuperFood» для здорового харчування: монографія / Р.Ю. Павлюк, В.В. Погарська, В.А. Павлюк, О.С. Бессараб, Н.М. Тимофеева, К.С. Балабай, О.С. Погарський, Т.С. Пономаренко та ін.; Харків, Факт, 2019. – 485 с. (Серія: Інновації при переробці плодів, овочів, грибів та бобових на великих підприємствах та в ресторанному господарстві).

23. Розробка технології наноекстрактів та нанопорошків із прянощів для оздоровчих продуктів / Р.Ю. Павлюк, В.В. Погарська, Л.О. Радченко та ін. // Східно-Європейський журнал передових технологій. 2015. №. 3, Is. 10 (75). С. 54–59. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.43323>

24. Крио- и механохимия в пищевых технологиях: монографія / Р.Ю. Павлюк, В.В. Погарская, В.А. Павлюк, Л.А. Радченко и др.; – Харьков: Факт, 2015. – 255 с.

25. Спиричев В. Б., Шатнюк Л. Н., Позняковский В. М. Обогащение пищевых продуктов витаминами и минеральными веществами. Новосибирск: Изд-во СГУ, 2004. – 350 с.

26. Капрельянц Л. В. Функциональные продукты: монография. К.: Энтер Примс, 1997. – 312 с

27. Спиричев В. Б. Сколько человеку витаминов надо. М.: Наука, 1993. – 185 с.

## **РОЗДІЛ 6 НОВІ ВИДИ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ ТА БІСКВІТІВ ДЛЯ ОЗДОРОВЧОГО ХАРЧУВАННЯ ВІТАМІНІЗОВАНИХ ПЛОДООВОЧЕВИМИ КРІОДОБАВКАМИ**

Даний розділ присвячено науковому обґрунтуванню та розробці продуктів для оздоровчого харчування – хлібобулочних та кондитерських виробів (зокрема бісквітів) вітамінізованих натуральними каротиноїдними рослинними кріозамороженими добавками із традиційної для України сировини – овочів (моркви та гарбуза), бульб топінамбура та із цитрусових (лимонів з цедрою), які є на ринку України в значній кількості та за доступною ціною для населення України. Основним завданням роботи була розробка вітамінізованих каротиноїдних булочок та бісквітів з високим вмістом натуральних біологічно активних речовин ( $\beta$ -каротину, вітаміну С, Р-активних речовин) та пребіотичних речовин. Останні відрізняються невисоким вмістом цукру та виготовлених без застосування хімічних харчових домішок та призначені для оздоровчого харчування школярів, людей похилого віку та для масового споживання.

Актуальність розробки вітамінізованих продуктів за рахунок натуральних плодовоовочевих добавок пов'язана з тим, що сьогодні глобальною проблемою в більшості країн світу є значне зниження захисних сил організму людини, що пов'язано з погіршенням екологічної ситуації у всьому світі. Крім того, згідно з статистичними даними, населення України споживає вдвічі менше рекомендованої норми вітамінів, а також фруктів, ягід і овочів – джерел натуральних вітамінів та пребіотиків [1; 2; 3]. Недостатнє споживання вітамінів негативно впливає на стан здоров'я людини: погіршується загальне самопочуття, знижується працездатність, опір простудним та інфекційним захворюванням, посилюється вплив на організм людини шкідливих умов праці та оточуючого середовища. Сьогодні ця проблема значно ускладнюється пандемією у всіх країнах світу, яка з'явилася з захворюванням на COVID-19. Відсутні вакцини та спостерігається дефіцит продуктів для зміцнення імунітету та безпеки організму, які необхідно споживати сьогодні кожного дня. У зв'язку з цим ефективним шляхом покращення вітамінної забезпеченості населення є додаткове збагачення вітамінами та іншими біологічно активними речовинами (БАР) харчових продуктів масового споживання [4; 5].

У міжнародній практиці імунопрофілактика населення, у тому числі дітей проводиться шляхом вітамінізації харчових продуктів. До їх складу вводяться, насамперед,  $\beta$ -каротин, аскорбінова кислота, вітаміни

групи В, а також різні види преміксів – комплекси мінеральних речовин і вітамінів та пребіотиків (целюлози, пектину, інуліну). Вітамінізацію харчових продуктів проводять двома основними способами: введенням в рецептури продуктів синтетичних вітамінів або натуральних вітамінних добавок із вітамінної плодоовочевої сировини [4; 5].

У більшості розвинених країн світу, зокрема в США, Японії, Франції, Великобританії, Німеччині, Бельгії та ін., а також у багатьох країнах Азії, Африки, Латинської Америки, що розвиваються, проблема імунопрофілактики вирішується покращенням вітамінної забезпеченості населення шляхом вітамінізації синтетичними препаратами-вітамінами продуктів масового харчування, зокрема хлібобулочних і макаронних виробів, харчових концентратів, кондитерських виробів, безалкогольних напоїв і фруктових соків, плодоовочевих консервів, молочних і м'ясних продуктів, маргарину, цукру та ін. [1; 2; 4; 5]. Кількість вітамінів, які додаються в продукти, чітко регламентується і суворо контролюється державою. Інформація про вітамінізацію обов'язково міститься на упаковці продукту. Крім синтетичних добавок, для вітамінізації харчових продуктів використовуються натуральні добавки у формі пюре, паст, в тому числі у замороженому вигляді, порошків, екстрактів із природних рослинних вітаміноносіїв. В останні роки за кордоном застосовуються добавки із тропічних і субтропічних культур, багатих на вітаміни, фітокомпоненти ( $\beta$ -каротин, хлорофіл), мінеральні речовини та пребіотичні речовини (пектин, целюлозу, інулін та ін.). Застосовують добавки із вишні барбадоської, гуаяви, апельсинів, лимонів, хурми, грейпфрутів, авокадо та ін. тропічних та субтропічних культур. Крім того, використовується сік манго та гранату. У країнах Західної Європи, Польщі, Болгарії, Латвії, Естонії, Литві та ін. використовують вітамінну плодоовочеву сировину: ягоди чорної смородини, шипшини, горобини, суниці, обліпихи та ін. [6-9].

Патентно-інформаційні дослідження, аналіз проблеми, а також результати досліджень у межах наукової школи кафедри показали, що в підвищенні імунного статусу організму людини значну роль відіграють не тільки вітаміни (С, Е, групи В) та мінеральні речовини, але й фіторечовини такі як  $\beta$ -каротин, хлорофіл, фенольні сполуки, Р-активні речовини, які в організмі людини виконують окрему самостійну важливу лікувально-профілактичну та фізіологічну роль [17, 18]. Джерелом перерахованих БАР є рослинна сировина, зокрема, каротинвмісні овочі (морква, гарбуз), а також яблука та цитрусові (зокрема, лимони, бульби топінамбура та ін.). Труднощі під час

переробки і споживання каротинвмісних овочів, на думку авторів, пов'язані з тим, що значна частина молекул каротину (наприклад, у моркві) щільно упаковані в рослинні волокна –наноконплекси або наноасоціати гетерополісахаридів та білків і їх важко вилучити в орзчинну форму в процесі переробки сировини, а також при споживанні у шлунку людини.

Доцільність розробки вітамінізованих натуральним  $\beta$ -каротином та іншими БАР із рослинної каротинвмісної сировини, а також пребіотичними речовинами, хлібобулочних і кондитерських виробів для оздоровчого харчування склалася завдяки роботам таких вітчизняних та закордонних вчених: Павлюк Р.Ю., Погарської В.В., Симахіної Г.О., Капрельянца Л.В., Безусова А.І., Шатнюк Л.Н., Спиричева В. та ін. [6-9; 11; 12].

Проведений огляд літературних джерел щодо асортименту, технологій для виробництва булочок показав, що сьогодні промислові технології та рецептури каротиноїдних добавок із плодів та овочів та булочок з їх використанням для оздоровчого харчування, як на підприємствах ресторанного господарства, так і на хлібозаводах та хлібопекарнях відсутній. Асортимент булочок, збагачених натуральними каротиноїдними рослинними добавками та пребіотиками за кордоном також обмежений. Опис асортименту, технологій стосується тільки булочок, збагачених синтетичним  $\beta$ -каротином, або масляною формою мікробіологічного виробництва. Вся інформація щодо технології та рецептури виготовлення булочок промислового виробництва з застосуванням каротиноїдних рослинних добавок та пребіотичних натуральних домішок відсутня [5–9].

Останнім часом у всьому світі рослинним каротиноїдним добавкам приділяється значна увага онкологами, імунологами, дієтологами [10; 14; 16]. За останніми даними наукових досліджень, отриманими в міжнародній практиці в області молекулярної біології видатними вченими-вітамінологами Клаусом Обербайлем (Німеччина), Мартином Принсом і Джоном Фрізолі (США) та ін., встановлено, що споживання продуктів з високим вмістом натуральних каротиноїдів є надійним захистом організму людини від раку та інших хвороб [10]. Також відомо, що каротиноїди захищають клітини організму людини від патогенних мікроорганізмів і гасять вільні окислювальні радикали, які викликають патологічні зсуви в організмі людини та призводять до розвитку різних хвороб. Разом з вітаміном А каротиноїди в нашій імунній системі борються з вірусами, бактеріями

та іншими збудниками хвороб, підтримують молодість та здоров'я тіла, попереджають старість, покращують гостроту зору, роблять шкіру людини гладкою та еластичною [10]. За своєю омолоджуючою та детоксикуючою властивістю рослинні продукти з високим вмістом каротину (зокрема, морква, гарбуз, абрикоси, обліпіха та ін.) можна порівняти з властивостями печінки, яка є фільтруючим органом у організмі людини. На думку вітамінологів для того, щоб бути здоровим потрібно регулярно споживати багаті  $\beta$ -каротином продукти.

Авторами статті вперше в міжнародній практиці розроблено нанотехнологію наноструктурованих рослинних каротиноїдних добавок із моркви, гарбуза та із топінамбура у формі замороженої пасти, в яких вміст  $\beta$ -каротину у вільному стані перевищує вихідну сировину в 3,5...4,0 рази [5–9]. Це відкриття авторами було підтверджено при виконанні фундаментальних та науково-прикладних досліджень комплексної дії кріообробки та механічного подрібнення каротинвмісної сировини на зберігання і трансформацію каротиноїдів при вивченні ферментативних, біохімічних, фізико-хімічних кріомеханічних процесів у сучасних апаратах, які застосовують на підприємствах ресторанного бізнесу [5–9]. Отримані напівфабрикати із КВС автори використовували під час виготовлення різних кулінарних виробів для здорового харчування: перших та других страв, десертів, нанопаїв, наносорбетів, булочок, бісквітів, тортів та ін. [3–9]. Зокрема, в даній роботі приведені результати науково-дослідних робіт по розробці нових булочок для сендвічів та бісквітів для оздоровчого харчування, які збагачували каротиноїдними нанодобавками та кріодобавками із бульб топінамбура та цитрусових.

### **6.1 Розробка вітамінізованих булочок для оздоровчого харчування збагачених натуральними каротиноїдними кріодобавками із гарбуза та моркви, цитрусових та топінамбура**

В завдання роботи входила розробка рецептур і технології нового покоління булочок вітамінізованих натуральними каротиноїдними дрібнодисперсними замороженими добавками із моркви або гарбуза, а також цитрусових та топінамбура для оздоровчого харчування школярів та харчування різних верств населення з метою імунопрофілактики. Як інновацію при їх виробництві для вітамінізації використовували розроблені рослинні каротиноїдні добавки у формі пюре з рекордним вмістом  $\beta$ -каротину та інших БАР,

які знаходяться в легкозасвоюваній формі і одночасно є барвниками та стабілізаторами структури.

Аналізуючи дані наукової періодичної літератури за останні 10 років було встановлено, що робіт присвячених збагаченню булочок шкільних каротиноїдними рослинними добавками в комплексі із цитрусовими дрібнодисперсними добавками практично немає. Для збагачення булочок, які виробляються в Україні, застосовують корицю, родзинки, курагу, повидло, джем, цукати, горіхи та ін. Традиційні шкільні булочки характеризуються високою енергетичною цінністю (288...350 ккал), що викликана високим вмістом вуглеводів (55,6...56,4%), білків (7,6...8,8%), жирів (4,6...5,1%). Крім того, традиційні шкільні булочки містять вітаміни групи В ( $V_1$  – 0,2 мг в 100 г  $V_2$  – 0,1 мг в 100 г,  $V_6$ ), РР (1,5...2,0 мг в 100 г), мінеральні речовини (1,5...1,6%), серед яких більше всього міститься К (129...140 мг в 100 г), Р (85...100 мг в 100 г), Са (25...35 мг в 100 г).

Таким чином, проведений аналіз даних літератури, присвячений проблемі вітамінізації булочок, показав, що в даний час в Україні вітамінізовані булочки як для школярів, так і для населення України відсутні. У зв'язку з цим актуальним є розробка вітамінізованих булочок для оздоровчого харчування для школярів збагачених натуральними каротиноїдними добавками із гарбуза, моркви топінамбура та цитрусових та ін.

При розробці вітамінізованих булочок використовували як збагачувачі БАР, барвники та структуроутворювачі натуральні рослинні каротиноїдні нанодобавки з моркви, гарбуза, цитрусових фруктів (лимонів з цедрою) та бульб топінамбура. Останні отримані на кафедрі харчових технологій продуктів із плодів, овочів і молока та інновацій в оздоровчому харчуванні ХДУХТ з використанням криогенного «шокового» заморожування та дрібнодисперсного подрібнення [5–9].

Показано, що нові криозаморожені нанодобавки із плодів та овочів знаходяться в наноструктурованій формі, мають розмір частинок в десятки разів менший, ніж традиційне пюре [5–9]. Крім того, в порівнянні з виготовленими за традиційними технологіями пюре, вони мають принципово нові властивості, зокрема в декілька разів краще розчиняються і диспергуються у воді і відрізняються в 1,7...3,5 разів вищим, ніж у свіжих плодах, вмістом натуральних каротиноїдів, L-аскорбінової кислоти, низькомолекулярних та високомолекулярних фенольних сполук та інших БАР (табл. 6.1).

Перелічені БАР, як відомо, мають імуномодулюючі, антиокислювальні, детоксикуючі властивості та інші. При введенні нанодоба-



вок в різні види продуктів, зокрема булочки, вони виступають як натуральні збагачувачі БАР, барвники, гелеутворювачі, структуроутворювачі, ароматизатори. Показано, що каротиноїдні нанодобавки, які отримані за допомогою криогенної обробки сировини та дрібнодисперсного подрібнення, відрізняються рекордною кількістю  $\beta$ -каротину у вільному стані (табл. 6.1). Так, масова частка  $\beta$ -каротину в кріопюре з гарбуза та моркви в 3,0...3,5 рази більше, ніж у вихідній сировині. Показано, що в нанопюре вилучається і більша кількість низькомолекулярних фенольних сполук та L-аскорбінової кислоти, ніж знаходиться у вихідній сировині.

Таблиця 6.1

Порівняльна характеристика вмісту БАР у свіжих та кріозаморожених каротиновмісних овочах, топінамбурі та лимонах з цедрою й наноструктурованих пюре з них

Продукт	Масова частка, мг в 100 г			
	$\beta$ -каротину	L-аскорбінової кислоти	фенольних сполук (за хлорогеновою кислотою)	флавонолових глікозидів (за рутином)
Топінамбур свіжий (бульби)	0,1±0,01	24,5±2,4	350,0±21,4	180,2±10,1
Кріодобавка з топінамбура	0,2±0,01	50,2±4,8	640,2±45,6	275,6±12,4
Морква свіжа	9,5±1,0	12,8±1,5	214,6±10,8	50,2±2,5
Кріодобавка з моркви	30,8±2,5	32,9±3,2	324,2±15,4	110,5±8,2
Гарбуз свіжий	8,8±1,0	9,8±1,2	108,8±5,6	64,5±7,2
Кріодобавка з гарбуза	32,2±3,5	16,7±1,8	178,2±11,1	98,6±5,2
Лимони з цедрою свіжі	0,1±0,05	90,4±5,4	150,6±2,8	65,4±2,3
Кріодобавка з лимонів з цедрою	0,2±0,01	225,6±25,4	280,7±5,8	120,2±3,6

Головним при розробці рецептур каротиноїдних булочок для сендвічів було отримати пористу текстуру, жовто-оранжевий колір, приємний смак і зберегти в процесі технологічної обробки  $\beta$ -каротин, аскорбінову кислоту та інші цілющі речовини.

В результаті експериментальних досліджень і математичного моделювання розроблені рецептури 2-х вітамінізованих булочок для школярів, людей поважного віку та для масового харчування з використанням каротиноїдних дрібнодисперсних добавок та добавок із лимонів з цедрою та топінамбура.

Як аналог була використана рецептура булочки, яка відрізняється використанням здоби звичайної з вмістом жиру 5% та цукру 5...6%.

Експериментально обґрунтована доза та стадія внесення плодоовочевих кріодобавок в технології приготування булочок. Розроблені рецептури 2-х булочок, які відносяться до здоби звичайної – «Каротинка», «Оранжон», які відрізняються кількістю внесених каротиноїдних добавок із моркви та гарбуза. В каротиноїдних добавках міститься невисока кількість натуральної аскорбінової кислоти. Тому, до рецептур була введена кріодобавка з лимонів з цедрою з високим вмістом L-аскорбінової кислоти (225,0...240,0 мг в 100 г), що в рецептурі булочок становить 0,5 добової потреби організму людини в даному вітаміні. Аскорбінова кислота у складі кріодобавки з лимонів з цедрою була введена для посилення профілактичної дії продукту в комплексі з β-каротином.

Булочки готували за класичною технологією безопарним способом з введенням каротиноїдних добавок із лимонів з цедрою та топінамбура під час замісу тіста. Каротиноїдні добавки були внесені в кількості 15...20%, а з лимонів з цедрою – в кількості 1,2...1,5% і відповідно була зменшена кількість компонентів (у використаній рецептурі булочок – аналогів, зокрема булочки здобної звичайної), зокрема борошна, цукру, маргарину. Рецептури булочок із зазначеними дозами використання каротиноїдного пюре можуть бути виготовлені окремо, як на пюре з моркви або гарбуза, так і на пюре з їх суміші в будь-якому співвідношенні в еквівалентній кількості.

Вивчена якість нових видів булочок за органолептичними, фізико-хімічними показниками та вмістом БАР. Проведено порівняння з аналогами.

Показано, що нові булочки з каротиноїдними добавками мають приємний зовнішній вигляд, форму округлу, поверхню гладку без розривів м'якушки, яка пружна та пахуча. Колір м'якушки жовто-оранжевий без застосування синтетичних барвників. Смак булочок – приємний, гармонійний, з ароматом цитрусових та свіжості. Встановлено, що каротиноїдні булочки мають фізико-хімічні показники на рівні аналогів.

Показано, що вітамінні булочки відрізняються високим вмістом

$\beta$ -каротину і вітаміну С (табл. 6.2). Так, наприклад, в 100 г булочки «Каротинка» міститься  $\beta$ -каротину 5,5 мг, що покриває добову потребу людини в  $\beta$ -каротині, а в булочці «Оранжон» – 4,8 мг в 100 г, що покриває майже добову потребу людини в  $\beta$ -каротині, в той час як в аналозі він відсутній.

Таблиця 6.2

Характеристика комплексу біологічно активних поживних речовин в вітамінізованих булочках для оздоровчого харчування, збагачених плодовоовочевими кріодобавками

Найменування показника	Вітамінізовані булочки		Аналог
	«Каротинка»	«Оранжон»	
$\beta$ -каротин, мг в 100 г	5,5 $\pm$ 0,1	4,8 $\pm$ 0,1	0
L-аскорбінова кислота, мг в 100 г	35,4 $\pm$ 2,4	38,2 $\pm$ 1,8	0
Фенольні сполуки (за хлорогеновою кислотою), мг в 100 г	172,3 $\pm$ 10,3	198,6 $\pm$ 8,6	98,2 $\pm$ 1,9
Флавонолові глікозиди (за рутином), мг в 100 г	38,4 $\pm$ 0,7	35,3 $\pm$ 0,5	18,0 $\pm$ 0,8
Поліфеноли (за таніном), мг в 100 г	222,3 $\pm$ 0,5	219,3 $\pm$ 1,2	107,6 $\pm$ 1,1
Целюлоза, %	1,2 $\pm$ 0,01	1,1 $\pm$ 0,01	0,2 $\pm$ 0,01
Білок, %	7,8 $\pm$ 0,2	7,8 $\pm$ 0,2	7,6 $\pm$ 0,2
Пектин, мг в 100 г	220,0 $\pm$ 7,2	250,0 $\pm$ 8,5	0
Органічні кислоти, %	0,4 $\pm$ 0,05	0,4 $\pm$ 0,05	0,3 $\pm$ 0,05
Жир, %	5,0 $\pm$ 0,1	5,0 $\pm$ 0,1	5,0 $\pm$ 0,1
Сухі речовини, %	68,0 $\pm$ 1,5	68,2 $\pm$ 2,0	70,0 $\pm$ 2,0
Загальний цукор, %	8,0 $\pm$ 0,5	8,2 $\pm$ 0,6	–

Показано, що вміст вітаміну С в 100 г збагачених булочок становить 35,4...38,2 мг в 100 г, що відповідає 0,5 добової потреби людини в вітаміні С. Встановлено, що в нових булочках міститься значна кількість низькомолекулярних фенольних сполук – від 98,6 до 112,3 мг в 100 г, що в декілька разів перевищує їх добову потребу. Відомо, що фенольні сполуки є природними антиоксидантами, детоксикантами та зміцнюють кровоносні судини серця і мозку людини та мають бактерицидну та консервуючу дію.

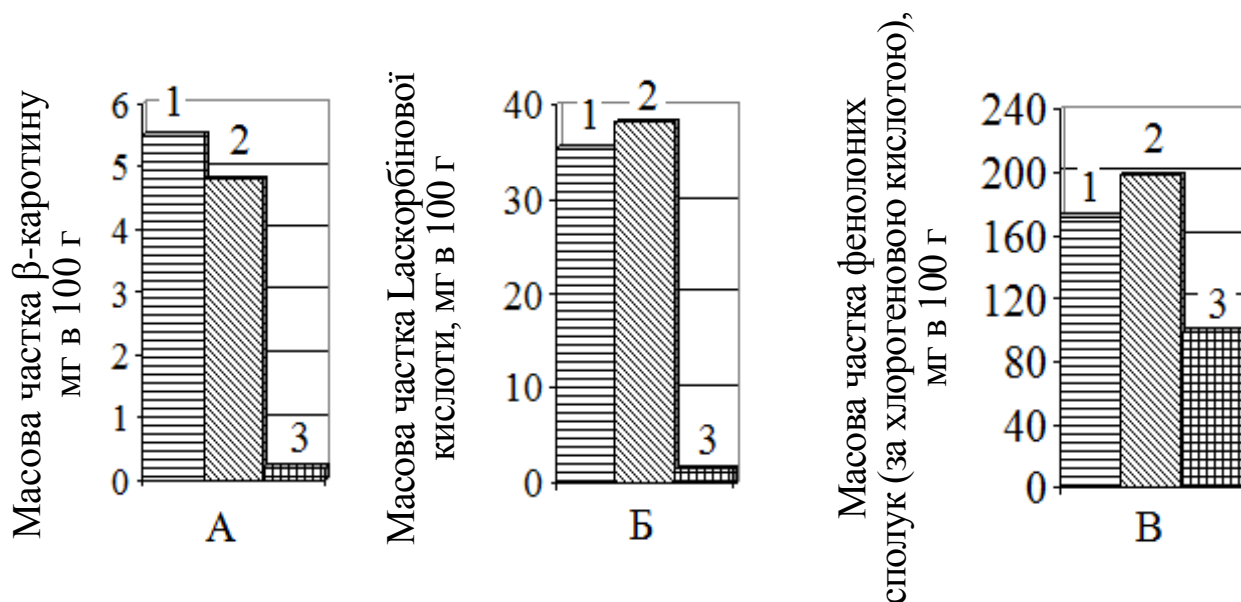


Рис. 6.1. Порівняльна характеристика вмісту БАР у вітамінізованих каротиноїдних булочках та аналогах: 1, 2 – вітамінні булочки «Каротинка» (1) та «Оранжеон» (2); 3 – аналог; А – масова частка  $\beta$ -каротину; Б – масова частка L-аскорбінової кислоти; В – масова частка фенольних сполук

Таким чином, розроблені вітамінізовані булочки за вмістом  $\beta$ -каротину, вітаміну С та фенольних сполук мають статус вітамінізованих функціональних оздоровчих продуктів. Їх можна віднести також до продуктів спецпризначення. Згідно з рекомендаціями ФАО / ВООЗ та МОН України, які відображені в державних програмах, їх можна віднести до продуктів спецпризначення, зокрема, продуктів, які призначені для імунопрофілактики населення України, в тому числі, школярів, дітей дитсадків, людей похилого віку і т. ін. Нова продукція рекомендується для використання на різних харчових виробництвах, закладах ресторанного і готельного бізнесу, в цехах супермаркетів, магазинів.

## 6.2 Розробка вітамінізованих бісквітів для оздоровчого харчування збагачених натуральними плодоовочевими рослинними дрібнодисперсними кріодобавками з високим вмістом БАР

В задачу роботи входила також розробка рецептур і технології нового покоління бісквітів для оздоровчого харчування, отриманих без застосування синтетичних компонентів, збагачених натуральними рослинними каротиноїдами, вітамінами, барвниками, ароматизаторами, стабілізаторами структури та іншими біологічно активними речо-

винами для оздоровчого харчування. Як інновацію при виготовленні бісквітів використовували для вітамінізації натуральні рослинні дрібнодисперсні добавки із каротинвмісних овочів, які відрізняються від аналогів рекордним вмістом  $\beta$ -каротину (в 5,0...10,0 разів більше, ніж в отриманих за традиційними технологіями), які знаходяться в легкозасвоюваній організмом людини наноформі і одночасно є барвниками і стабілізаторами текстури. Крім того, при виготовленні бісквітів використані кріодобавки з лимонів з цедрою і топінамбура з високим вмістом БАР.

Серед широкого асортименту борошняних кондитерських виробів бісквіти займають вагому частку. Їх споживчі властивості зумовлені привабливим зовнішнім виглядом, приємним смаком і ароматом, а також пухкою і легкою консистенцією. Бісквіти, що виробляються кондитерськими фабриками України за традиційними технологіями, відрізняються формою, розміром, способом виготовлення та видом наповнювача (з какао-порошком, з корицею, з цукатами, повидлом, родзинками, горіхами та ін.). Традиційні бісквіти характеризуються високою енергетичною цінністю (250...400 ккал в 100 г продукту) та незначним вмістом вітамінів, мінеральних речовин, білків, харчових волокон, ненасичених жирних кислот та ін. Висока енергетична цінність бісквітів пов'язана з високим вмістом в них легкозасвоюваних вуглеводів.

Аналізуючи дані наукової періодичної літератури за останні 10 років було встановлено, що робіт, присвячених збагаченню бісквітів натуральними рослинними каротиноїдними та вітамінними дрібнодисперсними добавками із плодоовочевої сировини, які одночасно є носіями БАР натурального кольору та мають стабілізуючу дію на консистенцію, текстуру, піноутворення продуктів практично немає. Роботи, в основному, присвячені пошуку і використанню різних хімічних синтетичних інгредієнтів і добавок для стабілізації процесу піноутворення, стійкості піни при отриманні яєчно-цукрової суміші в процесі виготовлення бісквітів, пошуку сахарозамінників, збагачення йодом та ін.

Таким чином, проведений аналіз даних літератури, що стосується проблеми вітамінізації бісквітів натуральними рослинними дрібнодисперсними каротиноїдними та вітамінними добавками із плодоовочевої сировини та їх вплив на формування і стійкість піни при фо-

рмуванні яєчно-цукрової суміші бісквітів і в кінцевому рахунку на текстуру готових виробів показав, що в науковій літературі відсутні такі дані. У зв'язку з цим, актуальним є проведення таких наукових досліджень.

Завданням роботи була розробка рецептур і технології вітамінізованих бісквітів для здорового харчування, яка включає використання сумішей-міксів – натуральних рослинних дрібнодисперсних кріодобавок в формі заморожених паст із каротинвмісних овочів, лимонів з цедрою та топінамбура, що дозволило не тільки максимально зберегти каротиноїди, вітаміни та інші БАР сировини, а також дозволило отримати вироби з високими органолептичними і структурно-механічними показниками.

В результаті експериментальних досліджень і математичного моделювання розроблені рецептури вітамінізованих бісквітів з використанням рослинних каротиноїдних дрібнодисперсних заморожених добавок із моркви та гарбуза, лимонів з цедрою та топінамбура. Експериментально обґрунтована доза та стадія внесення добавок в технології виробництва бісквітів. Розроблені рецептури трьох видів бісквітів – «Каротинка», «Вітамінка», «Світлячок», які відрізняються між собою кількістю каротиноїдних кріодобавок із моркви або гарбуза та інших компонентів а також кріодобавок з лимонів з цедрою та топінамбура (0,5%). Оскільки збагачуючі каротиноїдні добавки містять незначну кількість аскорбінової кислоти, тому в рецептури була додатково введена аскорбінова кислота з використанням кріодобавок із лимонів разом з цедрою та з яблук, що складає 0,5 добової потреби організму людини в даному вітаміні. Аскорбінова кислота посилює профілактичну дію продукту в комплексі з  $\beta$ -каротином.

Бісквіти готували за класичною технологією з введенням каротиноїдних добавок і добавок із лимонів з цедрою, яблук, топінамбура та ін. під час замісу тіста. У зв'язку з тим, що були введені плодоовочеві кріодобавки, відповідно була зменшена кількість таких компонентів, як борошно, яйця і цукор.

Показано, що нові бісквіти мають приємний смак і аромат, привабливий зовнішній вигляд, жовто-оранжевий колір і відрізняються пухкою і легкою консистенцією. Показано також, що каротиноїдні бісквіти мають і кращі структурно-механічні показники в порівнянні з контролем (таблиця 6.3).

Таблиця 6.3

Структурно-механічні показники вітамінізованих бісквітів  
для оздоровчого харчування (n=3, P $\geq$ 0,95)

Найменування показника	Вітамінізовані бісквіти			Контроль
	«Каротинка»	«Вітамінка»	«Світлячок»	
Питомий об'єм, м <sup>3</sup> /кг	455,6 $\pm$ 12	450,2 $\pm$ 10	448,6 $\pm$ 11	360,8 $\pm$ 10
Загальна пористість, %	85,2 $\pm$ 5	85,5 $\pm$ 6	80,6 $\pm$ 5	77 $\pm$ 4
Стискаємість, од. пр.	130 $\pm$ 5	128 $\pm$ 6	132 $\pm$ 7	125 $\pm$ 6
Упік, %	20,5 $\pm$ 0,3	21,0 $\pm$ 0,2	20,0 $\pm$ 0,3	19,5 $\pm$ 0,2

Методом ІЧ-спектроскопії підтверджено стабілізуючу дію добавок на структурно-механічні властивості і текстуру бісквітів на основі дрібнодисперсних добавок із КВО. Оскільки значна частка хімічних речовин плодоовочевих кріодобавок знаходиться в іонно-молекулярному та гідроколоїдному стані та в нанорозмірній формі, встановлено їх підвищену здатність до зв'язування води шляхом утворення водневих зв'язків. Показано, що відбувається міжмолекулярна перебудова і комплексоутворення асоціатів різних комплексів сполук – білків, амінокислот, полісахаридів, дубильних речовин та ін., про що свідчить збільшення інтенсивності ІЧ-спектрів широкої характеристичної смуги в області частот від 3600 до 3000 см<sup>-1</sup>, характерних для валентних коливань функціональних груп – ОН, що корелює з текстурно-механічними властивостями бісквітів.

Збільшення інтенсивності ІЧ-спектрів в області частот від 1800 до 3000 см<sup>-1</sup>, на наш погляд свідчить про те, що відбуваються комплексоутворення біополімерів (зокрема, білків і полісахаридів) і утворення асоціатів або комплексів колоїдів і стабільної текстури бісквітів без додаткового застосування стабілізаторів структури у вигляді різних добавок.

На нові рецептури і технологію розроблено НД (технологічні карти для КП «Комбінат дитячого харчування»), вивчено вміст каротиноїдів, аскорбінової кислоти та інших БАР, а також целюлози, білків і сухих речовин в розроблених бісквітах (таблиця 6.4).

Таблиця 6.4

Вміст  $\beta$ -каротину, L-аскорбінової кислоти та інших БАР в вітамінних бісквітах, що збагачені каротиноїдними дрібнодисперсними добавками (n=3, P $\geq$ 0,95)

Найменування показника	Вітамінізовані бісквіти			Аналог
	«Каротинка»	«Вітамінка»	«Світлячок»	
$\beta$ -каротин, мг в 100 г*	5,2 $\pm$ 0,1	4,9 $\pm$ 0,1	4,6 $\pm$ 0,1	0
L-аскорбінова кислота, мг в 100 г**	48,2 $\pm$ 1,5	46,5 $\pm$ 1,7	45,0 $\pm$ 2,0	0
Фенольні сполуки (за хлорогеновою кислотою), мг в 100 г	60,0 $\pm$ 0,5	68,4 $\pm$ 0,4	57,8 $\pm$ 0,3	0
Флавонолові глікозиди (за рутином), мг в 100 г	19,8 $\pm$ 0,2	18,6 $\pm$ 0,1	17,4 $\pm$ 0,1	0
Поліфенольні речовини (за таніном), мг в 100 г	40,4 $\pm$ 0,3	39,2 $\pm$ 0,2	38,6 $\pm$ 0,2	0
Целюлоза, %	0,4 $\pm$ 0,02	0,48 $\pm$ 0,02	0,34 $\pm$ 0,02	0
Білок, %	8,8 $\pm$ 0,2	9,1 $\pm$ 0,1	8,9 $\pm$ 0,1	9,5 $\pm$ 0,2
Сухі речовини	23,5 $\pm$ 0,6	23,0 $\pm$ 0,7	22,5 $\pm$ 0,6	24,5 $\pm$ 0,5

Примітка: \* добова потреба організму людини в  $\beta$ -каротині становить 5...6 мг;

\*\* добова потреба в вітаміні С становить 70...100 мг

Показано, що бісквіти з використанням каротиноідних добавок відрізняються високим вмістом  $\beta$ -каротину і вітаміну С (табл. 6.4). Так, наприклад, в 100 г бісквіта «Каротинка» міститься  $\beta$ -каротину 5,2 мг в 100 г, що покриває добову потребу людини в  $\beta$ -каротині (добова потреба – 5...6 мг на добу), в бісквіті «Вітамінка» – 4,9 мг в 100 г, що становить майже добову потребу, в бісквіті «Світлячок» – 4,6 мг в 100 г і становить майже добову потребу людини. Згідно з рекомендованими нормами ФАО/ВООЗ та Міністерства охорони здоров'я України, такі продукти за вмістом БАР відносяться до вітамінізованих і призначені для імунопрофілактики та для зміцнення імунітету населення України.

Показано, що вміст вітаміну С в 100 г бісквітів «Каротинка», «Вітамінка» і «Світлячок» складає відповідно: 48,2; 46,5; 45,0, що покриває 50-60% добової потреби організму людини в аскорбіновій кислоті.



Показано також, що в збагачених каротиноїдними пюре вітамінних бісквітах містяться фенольні сполуки, які є природними антиоксидантами, детоксикантами та мають Р-вітамінну активність. Їх сумарна кількість в 100 г бісквітів перевищує добову потребу в них. Так, при добовій потребі в 25 мг, в 100 г нових видів бісквітів міститься 38,8...40,4 мг.

Таким чином, розроблені вітамінізовані бісквіти мають статус функціональних оздоровчих продуктів (або продуктів для «здорового харчування») та, згідно з рекомендаціями ФАО/ВОЗ та МОН України, їх можна віднести до продуктів спецпризначення, зокрема для зміцнення імунітету населення.

На нові рецептури бісквітів, технологію їх виробництва розроблено НД (технологічні карти), проведено апробацію у виробничих умовах КП «КДХ» (м. Харків). Вироблені експериментальні партії бісквітів у виробничих умовах та проведена їх дегустація.

### Список літератури до розділу 6

1. FAO/WHO/UNU. Глобальная стратегия по питанию, физической активности и здоровью – 2004. – Резолюция WHA.55.23 принята сессией Всемирной ассамблеи здравоохранения (BA3), World Health Organization, Женева, 2004.
2. FAO/WHO/UNU. Dietary protein quality evaluation in human nutrition. Report of an FAO Expert Consultation [Text] // Food and agriculture organization of the united nations Rome. – 2013. – Vol. 92–57.
3. Крио- и механохимия в пищевых технологиях [Текст]: монография / Р. Ю. Павлюк, В. В. Погарская, В. А. Павлюк, Л.А. Радченко и др. – Х. : Факт, 2015. – 255 с.
4. Павлюк, Р.Ю. Новый напрямок глибокої переробки харчової сировини: монографія / Р. Ю. Павлюк, В. В. Погарська, Л.О. Радченко, В.А. Павлюк та ін. – Х.: Факт, 2017. – 380 с.
5. Активация гидрофильных свойств каротиноидов растительного сырья: монография / В. В. Погарська, Р. Ю. Павлюк, А. И. Черевко, В. А. Павлюк, Н.Ф. Максимова. – Х. : Фінарт, 2013. – 345 с.
6. Pavlyuk R., Pogarska V., Radchenko L., Tauber R.D., Timofeyeva N. Deep processing of carotene-containing vegetables and obtaining nanofood with the use of equipment of new generation// Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2016. – №4/11 (82). – С. 36-42.
7. Павлюк Р.Ю., Погарська В.В. та ін. Вивчення процесів криомеханодеструкції та механохімії при розробці нанотехнологій заморожених каротиноїдних рослинних добавок // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2016. – №6/11 (84).
8. Pavlyuk, R. The new method of processing of carotene-containing vegetables for the production of nanoproducts using combi-steamers and fine-dispersed

comminution [Text] / R. Pavlyuk, V. Pogarska, L. Radchenko, R. D. Tauber, N. Timofeyeva, T. Kotuyk // Eureka: Life Sciences. – 2016. – Vol. 3 (4). – P. 44–49. doi: 10.21303/2504-5695.2016.00146

9. Pogarska V., Pavlyuk R., Timofeyeva N., Bilenko L., Stukonozhenko T. Exploring the processes of cryomechanodestruction and mechanochemistry when devising nanotechnologies for the frozen carotenoid plant supplements // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2016. – №6/11 (84). – С. 39-46.

10. Обербайль, К. Витамины-целители [Текст] : пер. с нем. С. Борича. – Минск: Парадокс, 1997. – 448 с.

11. Шатнюк Л.Н. Научные основы новых технологий диетических продуктов с использованием витаминов и минеральных веществ: автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.18.01 и 05.18.18 / Л.Н. Шатнюк. – М., 2000. – 60 с.

12. Капрельянц Л.В. Функціональні продукти: монограф. /Л.В. Капрельянц, К.Г. Юргачова – Одеса: Друк, 2003. – 312 с.

13. Тутельян В.А. Питание и здоровье / В.А. Тутельян // Пищевая промышленность. – 2004. – 5. – С. 6-7.

14. Carotenoid-induced quenching of the phycobilisome fluorescence in photosystem II-deficient mutant of *Synechocystis* sp. / M.G. Rakhimberdieva [et al.] // FEBS Lett. – 2004. – №574. – P. 85-88.

15. Goni I. Bioaccessibility of beta-carotene, lutein, and lycopene from fruits and vegetables / I. Goni, J. Serrano, F. Saura-Calixto // Agric Food Chem. – 2006. – Vol. 54, Issue 15. – P. 5382–5387.

16. Dherani, M. Blood levels of vitamin C, carotenoids and retinol are inversely associated with cataract in a North Indian population / M. Dherani, G. V. S. Murthy, S. K. Gupta, I. S. Young, G. Maraini, M. Camparini et. al. // Investigative Ophthalmology & Visual Science. – 2008. – Vol. 49, Issue 8. – P. 3328–3335.

17. Энциклопедия питания: в 10 т. Т. 5. Биологически активные добавки / под. общ. ред. Р.Ю. Павлюк; сост.: Р.Ю. Павлюк и др. Х.: Мир Книг, 2017. 406 с.

18. Нанотехнології «NatureSuperFood» для здорового харчування : монографія / Р.Ю. Павлюк, В.В. Погарська, В.А. Павлюк, А.А. Берестова, К.С. Балабай та ін. – Харків: Факт, 2019 – 487 с.

## **РОЗДІЛ 7 ОЗДОРОВЧІ НАНОНАПОЇ НА ОСНОВІ МОЛОЧНОЇ СИРОВАТКИ З ВИКОРИСТАННЯМ КРІОДОБАВОК ІЗ КАРОТИНОЇДНИХ ОВОЧІВ ТА ТОПІНАМБУРА**

Даний розділ присвячено науковому обґрунтуванню та розробці нових функціональних комбінованих молочно-рослинних нанопоїв для оздоровчого харчування на основі натуральної сировини – сироватки молочної та вітамінних заморожених дрібнодисперсних добавок у формі наноструктурованих пюре з гарбуза, обліпихи, бананів та топінамбура. Дрібнодисперсні добавки одночасно є збагачувачами БАР, натуральними загусниками, структуроутворювачами та барвниками. Для надання нанопоям оригінального смаку та аромату в них додатково введені фітодобавки в формі фітоекстрактів із нетрадиційної пряноароматичної та лікарської сировини (майорану, базиліку, буркуну, орегано, насіння коріандру, лимонної цедри).

Сьогодні у міжнародній практиці одним із пріоритетних напрямів в оздоровчому харчуванні є створення функціональних оздоровчих продуктів [1]. Серед них особливе місце займають комбіновані молочно-рослинні продукти з використанням рослинних добавок. Особливе місце приділяється молочно-рослинним низькокалорійним нанопоям з використанням молочної сироватки [2].

Загальноновизнаним є той факт, що в Європі та інших країнах світу використання в раціонах харчування молочної сироватки у поєднанні з різноманітними фруктами, ягодами та соками є модною тенденцією в здоровому харчуванні [3].

Нові інноваційні варіанти функціональних продуктів на молочної сироватці базуються на введенні в неї різних видів натуральної рослинної сировини [1]. У розвинених країнах споживання загальновідомих напоїв на основі сироватки молочної у споживачів позиціонується зі «здоровими» низькокалорійними продуктами, і такими поняттями, як «спортивний спосіб життя», «здоров'я», «фітнес», «користь» та ін. [4].

Сироватка є джерелом незамінних амінокислот. Поряд з широким асортиментом напоїв на питній сироватці на міжнародному ринку з'явилися і інші продукти, до складу яких входить сироватка. Це десерти, дрессинги, соуси, спреди, снеки та ін. Особливою популярністю користуються напої-тоніки для спортсменів та молоді, які крім розчинних протеїнів містять рослинні адаптогенні і антиокислювальні речовини фенольної і терпеноїдної природи, що знаходяться в плодово-

чевій сировині і натуральних рослинних прянощах. Відомо, що в європейських країнах завжди користувалися популярністю соковмісні напої [5]. Наявність в напоях соків або пюре в незначній кількості надає їм повноту смаку, неповторність аромату і вишуканість [6]. Крім того, натуральні соки, плодово-ягідні та овочеві пюре є джерелом вітамінів, каротиноїдів, природних антиоксидантів фенольної і терпеноїдної природи, мінеральних речовин, полісахаридів та ін. [1]. В Україні і країнах СНД широке поширення напоїв з використанням соків і пюре стримує, перш за все, їх висока ціна, так як натуральні соки і пюре мають більш високу ціну, ніж смакові ароматичні добавки. Оскільки стовідсоткові натуральні соки і нектари з високим вмістом фруктової основи доступні за ціною далеко не всім верствам населення особливої актуальності набувають розробки в області комбінованих фруктових напоїв на основі сироватки молочної та плодоовочевих соків і пюре. Сироватка молочна є вторинною молочною сировиною, побічним продуктом в молочній промисловості при отриманні сиру і сирних виробів, тому напої на її основі можуть бути доступними за ціною для більшості населення. В Україні сироватка молочна поки не знайшла належного застосування в харчових продуктах, в тому числі і при виготовленні безалкогольних напоїв. Їх асортимент в Україні практично відсутній [4]. Обсяг сироватки молочної в Україні становить близько 1800,0 тис. т на рік. У зв'язку з цим актуальною є розробка інноваційних технологій комбінованих функціональних молочно-рослинних напоїв на основі сироватки молочної з використанням плодоовочевих пюре і фітодобавок із натуральних прянощів [5].

Метою дослідження є розробка рецептур і технології нових видів нанонапоїв на основі молочної сироватки з використанням дрібнодисперсних заморожених добавок у формі наноструктурованих пюре з топінамбура, гарбуза, обліпихи, бананів і фітоекстрактів з натуральних прянощів, а також дослідження вмісту БАР в нових напоях у порівнянні з аналогами.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі завдання:

- вивчити якість молочної сироватки, її амінокислотний склад, розрахувати амінокислотний скор;
- дати характеристику та визначити вміст БАР в наноструктурованих добавках із топінамбура, гарбуза, обліпихи і бананів;
- вивчити вплив дрібнодисперсного подрібнення на швидкість екстракції і ступінь вилучення БАР при отриманні водно-спиртових

екстрактів з майорану, базиліка, буркуну, орегано, насіння коріандру, лимонної цедри;

- розробити рецептури, технологічні схеми, відпрацювати технологічні режими і вивчити якість при виготовленні нанопаїв на основі молочної сироватки та рослинних добавок;

- виявити закономірності і механізми формування якості і стабільної стійкої дисперсної структури при виготовленні комбінованих молочно-рослинних паїв на основі молочної сироватки.

Дослідження проведені в ХДУХТ на кафедрі харчових технологій продуктів із плодів, овочів і молока та інновацій в оздоровчому харчуванні на базі науково-дослідної лабораторії кафедри – «Інноваційних, кріо- та нанотехнологій рослинних добавок і оздоровчих продуктів», а також у Харківському коледжі переробної та харчової промисловості ХНТУСГ ім. П. Василенка.

Робота виконана з використанням сучасного обладнання: програмного заморожувача з використанням рідкого та газоподібного азоту з комп'ютерним забезпеченням, низькотемпературного кріогенного подрібнювача (Франція), дрібнодисперсного подрібнювача, бінокулярного мікроскопу з програмним забезпеченням, відеокамерою і калібрувальною шкалою в мікрометровому і нанометровому діапазоні.

Результати досліджень, наведені в даному розділі, є продовженням робіт авторів з розробки функціональних оздоровчих продуктів з використанням дрібнодисперсних добавок у формі кріозаморожених пюре і нанопорошків, які увійшли в роботу, що в 2006 році була удостоєна Державної премії в галузі науки і техніки України [2, 6].

При розробці нанопаїв на основі молочної сироватки інновацією є використання створених на кафедрі харчових технологій продуктів із плодів, овочів і молока та інновацій в оздоровчому харчуванні ХДУХТ 2-х видів нанодобавок:

- каротиноїдних та антиоксидантних кріозаморожених добавок, отриманих за безвідходною кріогенною технологією в формі наноструктурованих пюре (з гарбуза, обліпихи, бананів і топінамбура),

- добавок в формі водно-спиртових нанофітоекстрактів (з лимонної цедри і натуральних прянощів з майорану, базиліка, буркуну, орегано).

Показано, що нові наноструктуровані пюре з топінамбура, гарбуза, обліпихи і бананів мають принципово нові властивості, а саме: в кілька разів краще розчиняються і диспергуються у воді (в порівнянні з пюре, виготовленими за традиційною технологією), відрізняються в

2...3 рази вище, ніж у свіжих плодах, вмістом низькомолекулярних БАР ( $\beta$ -каротину, L-аскорбінової кислоти, фенольних сполук, флавонолових глікозидів та ін.) у вільному стані і мають потенційні імунomodуючі властивості, а також є загусниками і структуроутворювачами (табл. 7.1) [7].

Вони мають розмір частинок в десятки разів менше, ніж при традиційних технологіях. Заморожені плодоовочеві пюре являють собою складні гетерогенні дисперсні системи з розміром частинок близько мкм, що складаються з нанорозмірних низькомолекулярних БАР (розмір молекул яких становить від 0,5 до 2,0 нм), які знаходяться як у вільному, так і у зв'язаному з біополімерами стані, асоціатів або наноконкомплексів біополімерів або БАР-біополімер з розмірами від 40 до 800 нм, ферментів, мінеральних речовин, а також містять від 75 до 90% води у вільному і зв'язаному стані і т. п.

Таблиця 7.1

Порівняльна характеристика вмісту БАР в кріозаморожених дрібнодисперсних добавках із топінамбура, каротинвмісних овочів та ягід, а також бананів

Продукт	Масова частка, мг в 100 г			
	$\beta$ -каротину	L-аскорбінової кислоти	флавонолових глікозидів (за рутином)	фенольних сполук (за хлорогеновою кислотою)
Топінамбур свіжий	0	10,3 $\pm$ 0,5	240,0 $\pm$ 12,4	350,0 $\pm$ 15,6
Кріопюре з топінамбура	0	19,8 $\pm$ 1,8	460,0 $\pm$ 20,8	700,0 $\pm$ 20,3
Гарбуз свіжий	8,0 $\pm$ 0,4	6,0 $\pm$ 0,5	58,4 $\pm$ 2,8	90,2 $\pm$ 6,8
Кріопюре з гарбуза	25,2 $\pm$ 1,0	14,2 $\pm$ 2,1	120,1 $\pm$ 6,4	205,2 $\pm$ 11,8
Дрібнодисперсне пюре з гарбуза	20,2 $\pm$ 0,6	7,2 $\pm$ 0,6	75,6 $\pm$ 4,2	190,6 $\pm$ 15,4
Обліпиха свіжа	24,5 $\pm$ 1,2	205,4 $\pm$ 10,2	95,2 $\pm$ 5,7	644,2 $\pm$ 20,1
Кріопюре з обліпихи	55,2 $\pm$ 2,8	423,5 $\pm$ 12,4	198,2 $\pm$ 18,1	1305,4 $\pm$ 32,1
Дрібнодисперсне пюре з обліпихи	47,8 $\pm$ 3,2	235,6 $\pm$ 15,6	142,3 $\pm$ 5,2	860,5 $\pm$ 15,3
Банани свіжі	0	15,2 $\pm$ 0,6	210,0 $\pm$ 11,2	380,0 $\pm$ 10,4
Кріопюре з бананів	0	28,7 $\pm$ 1,6	315,0 $\pm$ 15,4	450,0 $\pm$ 15,8

Нові наноструктуровані пюре з фруктів та овочів при виготовленні низькокалорійних напоїв на основі молочної сироватки були використані як наповнювачі та збагачувачі рослинними БАР, а також структуроутворювачі. За основу при виробництві напоїв була використана неосвітлена сироватка молочна, яка є складною полідисперсною системою. Одні компоненти розчинені у воді, яка є для них дисперсійним середовищем, а їх розчини є, в свою чергу, дисперсійним середовищем для інших речовин. Так, для лактози дисперсійним середовищем є вода, для білків – розчин солей, які підтримують їх в колоїдному стані, а для жиру – вся плазма сироватки, завдяки чому він утворює в ній емульсію або суспензію. Таким чином, в молочній сироватці частина компонентів знаходиться в іономолекулярному стані, а частина в колоїдному стані.

Аналіз розмірів біологічних компонентів – речовин або сполук присутніх в молочній сироватці свідчить про те, що вони нанорозмірні. Так, розміри  $\alpha$ -амінокислот, які містяться в молочній сироватці у вільному стані знаходяться в діапазоні від 0,42 нм (у гліцину) до 1 нм (у триптофану), інші амінокислоти займають проміжне положення. Розміри молекул білків в розчинному стані в молочній сироватці знаходяться від 40 до 200 нм, асоціати біополімерів – від 200 до 500...800 нм і т. д. Розміри молекул вітамінів В<sub>1</sub> і В<sub>2</sub> – 1,1 нм,  $\alpha$ -токоферолу – 1,6 нм та ін. Як основу при створенні напоїв використовували сироватку молочну виробництва ЗАТ «Куп'янський молочноконсервний комбінат» (м. Куп'янськ, Харківська обл.). Встановлено, що сухі речовини молочної сироватки становлять 5,4%, які в основному представлені вуглеводами (лактозою) (3,5%) і білками (1,1%). Показано, що білок в молочній сироватці представлений як зв'язаними амінокислотами (АК) – 88,2% від загальної кількості амінокислот у білку, так і амінокислотами у вільному стані (11,8%), які утворюють надмолекулярні структури білкових глобул (табл. 7.2) .

Так, в 100 г молочної сироватки загальний вміст амінокислот становить 1100,0 мг, із них 984,7 мг представлені амінокислотами, які перебувають у зв'язаному стані і 115,3 мг – у вільному.

Проведений розрахунок амінокислотного скору молочної сироватки показав, що її білок є повноцінним, оскільки за вмістом незамінних амінокислот перевищує, відповідно до шкали ФАО/ВОЗ, ідеальний білок за вмістом всіх незамінних АК (в 1,1...1,6 разу). Так, амінокислотний скор всіх незамінних амінокислот молочної сироватки становив від 113% (для триптофану) до 156% (для сумарного вмісту метіоніну і цистину).

Таблиця 7.2

Характеристика амінокислотного складу молочної сироватки (n=3, P>0,95)

№ з/п	Назва амінокислоти	Масова частка АК, мг в 100 г		Сумарний вміст АК, що знаходяться у вільному і зв'язаному стані, мг в 100 г	АК, що знаходяться у вільному стані до сумарного вмісту АК, %
		у зв'язаному стані	у вільному стані		
1	Аспарагінова кислота	73,9	11,4	85,3	13,4
2	Треонін	42,9	8,0	50,9	15,7
3	Серин	45,9	17,1	63,0	21,7
4	Глутамінова кислота	170,3	5,8	176,1	3,3
5	Пролін	57,9	28,9	86,8	33,3
6	Цистин	38,9	0	38,9	0
7	Гліцин	40,4	6,0	46,4	12,9
8	Аланін	52,6	5,9	58,5	10,1
9	Валін	64,2	12,0	76,2	15,7
10	Метіонін	17,2	4,0	21,2	18,9
11	Ізолейцин	64,7	0	64,7	0
12	Лейцин	84,2	8,0	92,2	8,7
13	Тирозин	46,7	1,3	48,0	2,7
14	Фенілаланін	42,6	3,9	46,5	8,4
15	Гістидин	21,2	6,1	27,3	22,3
16	Лізін	67,0	11,1	78,1	14,2
17	Триптофан	12,4	0	12,4	0
18	Аргінін	27,5	0	27,5	0
	Всього:	970,5	129,5	1100,0	-

У роботі як збагачувачі біологічно активними і ароматичними речовинами і консервуючими добавками були використані водно-спиртові фітоекстракти з нетрадиційної лікарської і пряноароматичної рослинної сировини, яка є джерелом натуральних антиоксидантів (фітонцидів, низькомолекулярних фенольних сполук, дубильних і ароматичних речовин) і відома своїми антиоксидантними властивостями і консервуючою дією [8].

Нетрадиційну пряноароматичну і лікарську рослинну сировину використовують переважно в кондитерській, безалкогольній і лікеро-горілчаній, консервній промисловості, застосовують на підприємствах ресторанного господарства [9]. У харчовій промисловості її традиційно використовують в сухому вигляді, у формі порошків, ефір-



них олій, концентратів і, найчастіше, у вигляді водно-спиртових настоїв або екстрактів [8–10].

Встановлено, що фітоекстракти з натуральних прянощів та лимонної цедри відрізняються високим вмістом низькомолекулярних фенольних сполук з антиоксидантною і консервуючою дією, масова частка яких в 100 мл екстракту становить: ароматичних речовин – 145,8...320,8 мл  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , загальний вміст фенольних сполук – 154,2...1098,6 мг, флавонолових глікозидів – 20,5...624,8 мг, вільних катехінів – 52,0...224,4 мг, дубильних речовин – 32,6...381,2 мг. Найбільшим вмістом БАР (ароматичних речовин, загальних фенольних сполук, флавонолових глікозидів) відрізняються фітоекстракти з майорану і буркуну. Найменшим вмістом БАР відрізняється екстракт з коріандру (табл. 7.3).

Таблиця 7.3

Вміст БАР у фітоекстрактах із натуральних прянощів і лимонної цедри (n=3, P>0,95)

Найменування показника	Водно-спиртовий фітоекстракт					
	із майорана	із базилика	із орегано	із коріандра	із буркуну	із лимонної цедри
Ароматичні речовини (за числом аромату), мл $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ в 100 мл	202,5	160,5	185,4	145,8	198,6	320,8
Загальний вміст фенольних сполук (за хлорогеновою кислотою), мг в 100 мл	1021,4	1098,6	1100,2	154,2	998,2	350,6
Флавонолові глікозиди (за рутином), мг в 100 мл	520,2	462,3	624,8	20,5	502,4	134,2
Вільні катехіни (за d-катехіном), мг в 100 мл	224,4	118,2	52,0	80,2	118,6	75,4
Дубильні речовини (за таніном), мг в 100 мл	324,6	301,4	381,2	32,6	316,4	168,2
Сухі речовини, %	3,8	4,2	3,7	1,6	4,7	5,2

Фітоекстракти з натуральних прянощів (листя і стебел майорану, базиліка, буркуну, насіння коріандру) і лимонної цедри в даній роботі були використані як збагачувачі БАР з антиоксидантною та консервуючою дією фенольної і терпеноїдної природи (фенольними сполуками, флавоноловими глікозидами, катехінами, дубильними речовинами) при розробці технології напоїв на основі сироватки молочної з використанням заморожених дрібнодисперсних добавок у формі наноструктурованих пюре з топінамбура, гарбуза, обліпихи, бананів.

Труднощі при переробці молочної сироватки пов'язані з тим, що через високу кислотність і мікробне обсіменіння вона має короткі терміни зберігання (не більше 36 годин). Крім того, компоненти, що знаходяться в колоїдному стані (сироваткові білки, казеїни, жири та ін.), при переробці можуть утворювати в напоях муть, осад, опалесценцію. З метою збагачення рослинними БАР і утворення однорідної стабільної консистенції при розробці технології нових видів напоїв в даній роботі були використані дрібнодисперсні заморожені добавки в формі наноструктурованих пюре з плодоовочевої сировини, до складу яких крім БАР входять природні стабілізатори і загусники, такі як розчинні пектинові речовини, целюлоза, геміцелюлоза, дубильні речовини, які з білками можуть утворювати асоціати або комплекси та ін. [6].

Розроблено технологію та науково обґрунтовані технологічні режими виробництва нових видів молочно-рослинних напоїв на основі молочної сироватки, які відрізняються від традиційних внесенням заморожених дрібнодисперсних добавок з плодоовочевої сировини в киплячий цукровий сироп. При цьому одночасно відбуваються два процеси: розморожування (або дефростація) і теплова обробка плодоовочевої сировини, що сприяє найбільш повному збереженню біологічно активних і ароматичних речовин, збереженню природного аромату. Далі за технологічною схемою в отриману киплячу суміш вносять гарячу пастеризовану сироватку і проводять пастеризацію отриманої купажної суміші, в результаті чого відбуваються незначні втрати (12...15%) біологічно активних речовин плодоовочевої сировини.

Показано, що нові молочно-рослинні напої мають в 2 рази більші терміни зберігання і за вмістом таких БАР, як  $\beta$ -каротин, аскорбінова кислота, фенольні сполуки, дубильні, пектинові речовини, незамінні амінокислоти та ін. напої перевищують відомі аналоги. Так, в

100 мл нових напоїв міститься 5,8...6,2 мг  $\beta$ -каротину, що відповідає добовій нормі в цьому вітаміні.

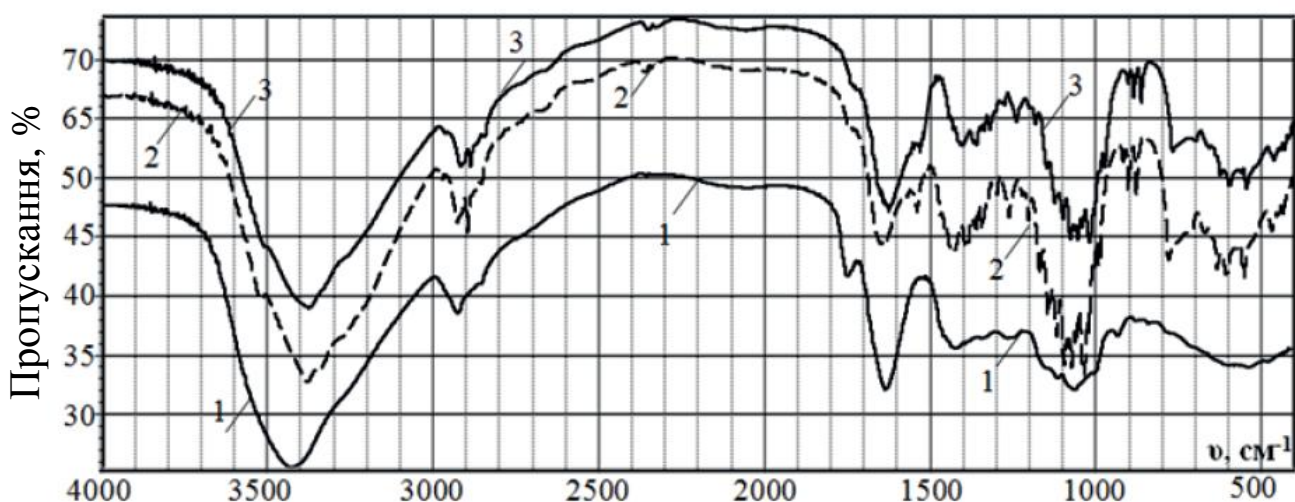
Показано також, що в 100 мл напоїв міститься 0,5 добової потреби людини у вітаміні С і становить 46,7...50,1 мг, а в склянці (250 мл) – понад 100 мг (табл. 7.4).

Таблиця 7.4

Вміст БАР і харчових речовин в нових видах функціональних оздоровчих молочно-рослинних нанопоїв на основі молочної сироватки і заморожених добавок із топінамбура, гарбуза, обліпихи, бананів і фітоекстрактів (n=3, P $\geq$ 0,95)

Найменування показника	Нанопої на основі молочної сироватки				Напій «Твіст» ТМ «Актуаль» (аналог)
	«Лактокаротон»	«Лактооранж»	«Каромілк»	«Оранжмілк»	
Л-аскорбінова кислота, мг в 100 г	47,5	50,1	46,7	48,6	7,5
$\beta$ -каротин, мг в 100 г	5,8	6,2	5,8	6,0	0
Фенольні з'єднання (за хлорогеновою кислотою), мг в 100 г	107,9	112,4	105,7	105,2	0
Флавонолові глікозиди (за рутином), мг в 100 г	48,4	50,0	51,0	49,6	0
Дубильні речовини (за таніном), мг в 100 г	65,2	70,4	68,3	67,8	0
Пектинові речовини, %	0,9	0,8	0,9	0,9	0,2
Білок, %	0,8	0,9	0,9	0,8	0,5
Незамінні АК, мг в 100 г:					
триптофан	14	13	15	15	9
лізин	46	45	44	46	24
треонін	34	37	36	37	12
валін	52	51	53	52	32
метіонін+цистин	46	44	47	47	34
ізолейцин	42	40	38	55	33
лейцин	57	55	58	57	41
фенілаланін+тирозин	56	55	56	58	38
Органічні кислоти, %	2,2	2,1	2,2	2,1	2,0
Загальний цукор, %	6,0	6,1	6,1	6,0	12,0
Сухі речовини, %	15,2	15,0	15,1	14,8	14,2

Таким чином, за вмістом БАР нові молочно-рослинні напої мають потенційні імуномодулюючі властивості, тому вони відносяться до оздоровчих продуктів і їх можна рекомендувати для здорового харчування. Встановлено, що нові молочно-рослинні напої мають однорідну стабільну консистенцію, яка не розшаровується, що пов'язано з тим, що внесення добавок із топінамбура, гарбуза, обліпихи і бананів мають властивості структуроутворювачів і загусників. Отримані результати були підтверджені методом ІЧ-спектрального аналізу (рис. 7.1).



Валентні коливання груп, $\text{cm}^{-1}$				
ОН	NH	CH	S-H	C=O
3645...2500	3500...2400	3350...2850	2900...2000	1750...1720
Валентні коливання груп, $\text{cm}^{-1}$				
C-O-	COOH	S=S	C=N	CH <sub>3</sub>
1300...1000	1750...1700	550...450	1230...1030	1470...1355

Рис. 7.1 - ІЧ-спектри нових видів молочно-рослинних напоїв на основі сироватки молочної та заморожених дрібнодисперсних добавок з плодоовочевої сировини, де: 1 – сироватка молочна, 2, 3 – напої на основі молочної сироватки з використанням суміші заморожених дрібнодисперсних добавок з плодоовочевої сировини (2), а також фітоекстрактів (3)

Показано, що в області частот при  $\nu=3600\text{...}3000 \text{ cm}^{-1}$ , спостерігається збільшення інтенсивності ІЧ-спектрів і утворення додаткових водневих зв'язків, яке відбувається в результаті міжмолекулярної перебудови і комплексоутворення різних асоціатів або комплексів сполук «білок-білок», «білок-полісахарид», «біополімер-БАР» за рахунок додавання до

молочної сироватки дрібнодисперсного замороженого пюре з фруктів та овочів, фітоекстрактів, що корелює з текстурою напою і більш густою консистенцією продукту і його структурно-механічними властивостями.

Показано також, що в області частот  $\nu=2900\dots2000\text{ см}^{-1}$ , характерних для валентних коливань  $-\text{NH}_2$  і  $-\text{NH}$  груп, а також в області  $\nu=1700\dots1100\text{ см}^{-1}$ , характерних для валентних коливань  $\text{C}-\text{O}$  груп, спостерігається збільшення інтенсивності спектрів поглинання напоїв на основі сироватки молочної з використанням заморожених дрібнодисперсних добавок з фруктів та овочів, фітоекстрактів із натуральних прянощів та лимонної цедри в порівнянні з контрольним зразком (сироваткою молочною). Крім того, це свідчить про збільшення кількості  $\alpha$ -кислот, моноцукрів, ароматичних речовин терпеноїдної природи, спиртів, ефірів за рахунок внесення в продукт заморожених дрібнодисперсних добавок з фруктів, а також фітоекстрактів, тобто в порівнянні з аналогом відбувається збагачення продукту і утворення більш густої консистенції.

Кінцевим результатом роботи є розробка рецептури нового покоління комбінованих молочно-рослинних нанопоїв, технології та НД на нові види нанопоїв. Крім того, нові види напоїв пройшли дегустацію та апробацію у виробничих умовах на підприємствах Харкова: ТОВ «Богодухівський молзавод», ТОВ СУП «Полюс ЛТД».

## Висновки до розділу 7

Таким чином, науково обґрунтовані технологія і рецептури нових видів нанопоїв для здорового харчування на основі молочної сироватки з використанням дрібнодисперсних заморожених добавок у формі наноструктурованих пюре (з топінамбура, гарбуза, обліпихи, бананів) і фітоекстрактів з натуральних прянощів. Композиції фітоекстрактів з натуральних прянощів вносили для збагачення напоїв біологічно активними і ароматичними речовинами, створення смаку і аромату, а також продовження термінів зберігання.

Крім того, виявлені закономірності та механізми формування якості і стабільної стійкої дисперсної структури при виготовленні комбінованих молочно-рослинних напоїв. Показано, що дрібнодисперсні заморожені добавки виступають одночасно як збагачувачі натуральними БАР, загусники і структуроутворювачі.

Показано, що за хімічним складом і вмістом БАР ( $\beta$ -каротину, L-аскорбінової кислоти, фенольних сполук, флавонолових глікозидів,

дубильних речовин, катехінів та ін.) нові нанопаї перевершують вітчизняні аналоги і можуть застосовуватися як продукти з потенційною імуномодулюючою дією.

### Список літератури до розділу 7

1. Павлюк, Р. Ю. Нове покоління молочних продуктів у підвищенні імунітету: зб. наук. праць / Р. Ю. Павлюк // Прогресивні ресурсозберігаючі технології та економічне обґрунтування у підприємствах харчування. Економічні проблеми торгівлі: у 2-х ч Ч. 1. – Харків. ХДУХТ, 2003. – С. 93–99.
2. Капрельянц, Л. В. Функціональні продукти: моногр. / Л. В. Капрельянц, К. Г. Іоргачова – Одеса: Друк, 2003. – 312 с.
3. FAO/WHO. Питание 21 Век. Глобальные проблемы / Международная конференция по питанию. – Рим, 1992. – С. 3–8.
4. FAO/WHO. Меры политики по обеспечению продовольственной безопасности в регионе: проблемы и перспективы – продовольственный прогноз до 2050 года / Двадцать восьмая региональная конференция ФАО для Европы. – Баку, 2012. – 25 с.
5. Тутельян, В. А. Питание и здоровье / В. А. Тутельян // Пищевая промышленность. – 2004. – № 5. – С. 6–7.
6. Осипова, Л. А. Научно-практическое обоснование и разработка технологии консервированных функциональных напитков: дис. ... докт. техн. наук. : 05.18.13 / Л. А. Осипова. – Одесса, 2007 – 377 с.
7. Павлюк, Р. Ю. Нанотехнології заморожених кріопаст із плодів та овочів з унікальними характеристиками – добавок для функціональних молочних продуктів / Р. Ю. Павлюк, В. В. Погарська, С. М. Лосева та ін. // Молокопереробка. – 2010. – № 1 (52). – С. 24–30.
8. Дьякова, Т. С. Товароведная оценка и исследование антиоксидантных свойств фитодобавок из лекарственного сырья и их использование в продуктах профилактического действия: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.15 / Т. С. Дьякова. – Х., 1998. – 250 с.
9. Сергеев, В. Н. Биологически активное растительное сырье в пищевой промышленности / В. Н. Сергеев, Ю. И. Кокаев // Пищевая промышленность. – 2001. – № 6. – С. 28–30.
10. Яницкий, В. В. Товароведная оценка биологически активных растительных добавок и их использование в продуктах радиозащитного действия: дис. ... канд. техн. наук. : 05.18.15 / В. В. Яницкий. – Х., 2000. – 255 с.
11. Павлюк, Р.Ю. Новий напрямок глибокої переробки харчової сировини: монографія / Р.Ю. Павлюк, В.В. Погарська, Л.О. Радченко, В.А. Павлюк та ін. – Х.: Факт, 2017. – 380 с.

## **РОЗДІЛ 8 НОВІ ВИДИ ОЗДОРОВЧИХ ПОРОШКОПОДІБНИХ «INSTANT» НАНОНАПОЇВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ КРІО- ДОБАВОК ІЗ ТОПІНАМБУРА, ГАРБУЗА ТА ЦИТРУСОВИХ**

Одним із видів безалкогольної продукції з тривалими строками зберігання (до 1 року та більше без застосування холоду) є порошкоподібні концентрати для напоїв. Оскільки гарантійний строк зберігання у порошкоподібних концентратів для напоїв достатньо високий, збагачення цього виду продукції вітамінами та іншими БАР з рослинної сировини може внести суттєвий вклад в імунопрофілактику та покращення вітамінної забезпеченості населення впродовж всього року [1, 2]. Проте в Україні асортимент порошкоподібних напоїв, в тому числі оздоровчих, на сьогоднішній день обмежений.

За кордоном випуск порошкоподібних сумішей для безалкогольних напоїв становить близько 15% від загального виробництва безалкогольних напоїв [3–5, 6, 7]. Вони широко розповсюджені в США, країнах Західної Європи, Японії та ін. Це пов'язано з простотою та зручністю їх споживання. Однією з провідних країн з виробництва порошкоподібних концентратів для напоїв є США, де виробляється близько половини світової продукції [3]. Основними фірмами виробниками порошкоподібних концентратів для напоїв на світовому ринку є General Foods Corp, Coca-Cola, Pepsico Inc., Dr. Pepper Co та ін. [3]. В Європі провідними фірмами з виробництва порошкоподібних напоїв є Cadbury Schweppes (Великобританія), Dragoco (Австрія), Mc. Douglas Catering Foods (Шотландія), International Flavore Fragrances (IFF) і Polac Frutal (Голандія), A/S Kobenhavnspectinfabric (Данія), Hartwall (Фінляндія) [3–5].

Залежно від складу порошкоподібні концентрати для напоїв поділяють на тонізуючі, вітамінізовані, спеціального призначення та масові [3]. Для порошкоподібних напоїв найчастіше використовують значну частину цукру та синтетичні компоненти (ароматизатори, барвники), а також натуральну сировину (соки, екстракти, молочні концентрати тощо). Широко розповсюджені на світовому ринку легкосипкі напої простого складу, в основному, з використанням синтетичних збагачувачів, що містять цукор, харчові кислоти, ароматизатори та зв'язуючі речовини [3, 6]. В США, Великобританії та інших країнах у рецептурі порошкоподібних концентратів для напоїв поряд з лимонною та винною кислотами включають фосфорну кислоту, яка забезпечує специфічний смак, аромат та кислотність напою.

Сьогодні в результаті розвитку тенденції до збалансованого хар-

чування багато фірм приступили до випуску порошкоподібних концентратів для безалкогольних напоїв, збагачених біологічно активними компонентами, що покращують самопочуття та сприяють профілактиці різних захворювань. До таких сполук належать вітаміни, мінеральні речовини, екстракти лікарських рослин, зародків злакових культур, продукти бджільництва, ферменти та ін.

В країнах Західної Європи та Японії порошкоподібні напої найчастіше готують на основі натуральної сировини – концентрованих соків та порошків з них, сухого молока, яєчного білка, желатину, екстрактів з рослинної сировини [3, 6]. Як смакові добавки використовують також чай, каву, какао [3, 4, 6, 7].

З натуральних порошкоподібних напоїв з підвищеною харчовою цінністю великою популярністю на світовому ринку користуються напої «Хартспорт» фірми Hartwall (Фінляндія) та «Сунспорт» фірми A/S Kobenhavnspectinfabric (Данія) [3–5]. Напій «Хартспорт» готують на плодово-ягідній основі: він здатен швидко компенсувати втрати енергії. Порошкоподібний напій «Сунспорт» виробляють на натуральній цитрусовій основі [8].

Розповсюдженою сировиною для створення порошкоподібних напоїв за кордоном служать порошки з плодовоовочевих соків, які легко розчинні в воді. Технологія таких порошків розроблена в Японії, Росії, США, Україні [8].

В Японії для виробництва порошкоподібних концентратів для напоїв також використовують сік, кунжутне насіння, мед, ячмінь, солодковий екстракт, овочі, морські водорості, вітаміни, молочні продукти [8].

Однією із крупних фірм з виробництва порошкоподібних напоїв на світовому ринку є фірма General Foods Corp. (США) [8]. Вона є виробником смакових добавок, барвників, ароматизаторів, порошкоподібних композицій – наповнювачів для порошкоподібних напоїв. Особливо великою популярністю користуються порошкоподібні концентрати для напоїв «Танг», «Кул Ейд», «Катри Тайм», «Кристал Лайт» [8]. Всі напої, що випускаються фірмою General Foods Corp. збагачуються вітаміном С, деякі – містять вітаміни А, С, В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, РР, а також мінеральні речовини.

Аналіз даних літератури показав, що сухі напої відрізняються високою калорійністю та невисоким вмістом БАР натуральної рослинної сировини.

У зв'язку з цим, описані в даному розділі дослідження спрямовані на розробку нових фітоконцентратів (сухих порошкоподібних сумішей)



для напоїв, які підвищують захисні сили організму в умовах погіршеного екологічного становища та стресу, з використанням як основи вітамінних порошоків з плодоовочевої сировини (в тому числі інуліновмісної), отриманих за криогенною технологією без синтетичних та штучних домішок.

Розроблені рецептури, технологічна схема та технологія порошкоподібних «Instant» нанопоїв із застосуванням дрібнодисперсних добавок у формі порошоків сублімаційного сушіння з топінамбура, а також з гарбуза, яблук, лимонів та апельсинів. Якість вихідних криопорошків, залучених при виробництві «Instant» нанопоїв, вивчена за вмістом БАР та представлена в табл. 8.1.

Таблиця 8.1

Вивчення вмісту біологічно активних речовин у криопорошках із топінамбура, яблук, гарбуза, лимонів та апельсинів з цедрою (n=3, P≥0,95)

Найменування показника	Криопорошок				
	з топінамбура	з яблук	з гарбуза	з лимонів з цедрою	з апельсинів з цедрою
Сухі речовини, %	94,5	95,0	93,0	95,0	95,0
L-аскорбінова кислота, мг в 100 г	78,2	92,1	68,2	585,0	562,4
β-каротин, мг в 100 г	0	0	116,2	1,71	1,58
Загальний вміст фенольних сполук (за хлорогеновою кислотою), мг в 100 мг	2800,0	1780,0	892,8	2890,0	2183,8
Дубильні речовини (за таніном), мг в 100 мг	2160,0	854,5	372,0	1673,0	1036,35
Інулін, %	25,6	0	0	0	0
Пектинові речовини, %	28,5	12,6	9,5	11,2	10,8

Технологія виробництва «Instant» нанопаїв включає приймання дрібнодисперсних добавок у формі порошків з плодоовочевої сировини, висушених за допомогою сублімаційного сушіння, дозування та змішування у кількостях, зазначених рецептурами з подальшим фасуванням, пакуванням та зберіганням. Фасування «Instant» нанопаїв здійснюють у герметичну газо-волого-непроникну упаковку з трьохшарових плівчастих матеріалів на основі алюмінієвої фольги та зберігають при кімнатній температурі +20...+25°C, при відносній вологості повітря не більше 75% протягом 18 місяців.

Спосіб вживання «Instant» нанопаїв наступний: 25–30 г порошкоподібної суміші «Instant» нанопаєю заливають 200 мл чистої питної води температурою 18-50°C та перемішують. Через 2-3 хвилини продукт готовий до споживання. За бажанням можна додати цукор.

Якість отриманих натуральних порошкоподібних «Instant» нанопаїв із застосуванням порошкоподібних дрібнодисперсних добавок із топінамбура та іншої плодоовочевої сировини сублімаційного сушіння визначали за органолептичними, фізико-хімічними показниками та вмістом біологічно активних фітокомпонентів, зокрема,  $\beta$ -каротину, низькомолекулярних фенольних сполук, дубильних речовин, L-аскорбінової кислоти, пектинових речовин та ін.

Показано, що порошкоподібні «Instant» нанопаї, одержані із застосуванням порошкоподібних дрібнодисперсних добавок із топінамбура сублімаційного сушіння та інших видів плодоовочевої сировини легко відновлюються водою (або іншою рідиною, наприклад, молоком, молочною сироваткою), відтворюючи смак, аромат, зовнішній вигляд та консистенцію натуральних соків. Результати визначень фізико-хімічних показників та вмісту БАР в порошкоподібних «Instant» нанопаєх із застосуванням порошкоподібних дрібнодисперсних добавок із топінамбура та інших видів плодоовочевої сировини наведені в таблиці 8.2.

Показано, що 100 г кожного виду з сухих сумішей для «Instant» нанопаїв містять 132,9...137,1 мг L-аскорбінової кислоти (профілактична норма в вітаміні С), 16,1...16,9 мг  $\beta$ -каротину, 1647,8...1658,3 мг фенольних сполук (за хлорогеновою кислотою), 1322,2...1346,8 мг дубильних речовин (за таніном), а також пребіотики – інулін, пектинові речовини, целюлозу тощо. Вивчено також якість «Instant» нанопаїв із застосуванням порошкоподібних дрібнодисперсних добавок (сумішей) із топінамбура та інших видів плодоовочевої сировини, відновлених водою (табл. 8.3).

Таблиця 8.2

Вміст БАР в порошкоподібних оздоровчих «Instant» нанонапоях, отриманих із застосуванням порошкоподібних дрібнодисперсних кріодобавок

Продукт	Масова частка, мг в 100 г				Органічні кислоти, %	Вміст сухих речовин, %
	β-каротину	фенольних сполук (за хлорогеновою кислотою)	дубильних речовин (за таніном)	L-аскорбінової кислоти		
<b>Сухі суміші для «Instant» нанонапоїв</b>						
«Топі-Каротинка»	16,1	1647,8	1322,2	132,9	1,8	95,0
«Топі-Фрукт»	16,8	1651,4	1334,1	135,3	1,6	95,2
«Топі-Цитринка»	16,9	1658,3	1346,8	137,1	1,8	95,1

Таблиця 8.3

Вміст БАР у відновлених «Instant» нанонапоях, отриманих із застосуванням порошкоподібних дрібнодисперсних кріодобавок

Продукт	Масова частка, мг в 100 мл				Вміст інуліну, %	Вміст пектинових речовин, %
	β-каротину	фенольних сполук (за хлорогеновою кислотою)	дубильних речовин (за таніном)	L-аскорбінової кислоти		
Відновлений нанонапій «Топі-Каротинка»	4,1	405,3	322,2	32,9	2,5	1,0
Відновлений нанонапій «Топі-Фрукт»	3,8	407,5	334,1	35,5	2,3	0,9
Відновлений нанонапій «Топі-Цитринка»	3,9	408,2	346,8	37,1	1,9	0,8

Визначено, що 100 мл кожного з відновлених напоїв містять 32,9...37,1 мг L-аскорбінової кислоти (0,5 добової потреби в вітаміні

С), 3,8...4,1 мг  $\beta$ -каротину (майже добова потреба в  $\beta$ -каротині), 405,3...408,2 мг фенольних сполук (за хлорогеновою кислотою), 322,2...346,8 мг дубильних речовин (за таніном), а також пребіотичні речовини: інулін, пектинові речовини, целюлозу тощо (табл. 8.3).

Показано, що відповідно в 200 мл відновлених водою «Instant» напоїв міститься L-аскорбінової кислоти: 65,8 мг в нанонапою «Топі-Каротинка», 70,6 мг – в нанонапою «Топі-Фрукт», 74,2 мг – в нанонапою «Топі-Цитринка», що становить добову потребу у вітаміні С (рис. 8.1).

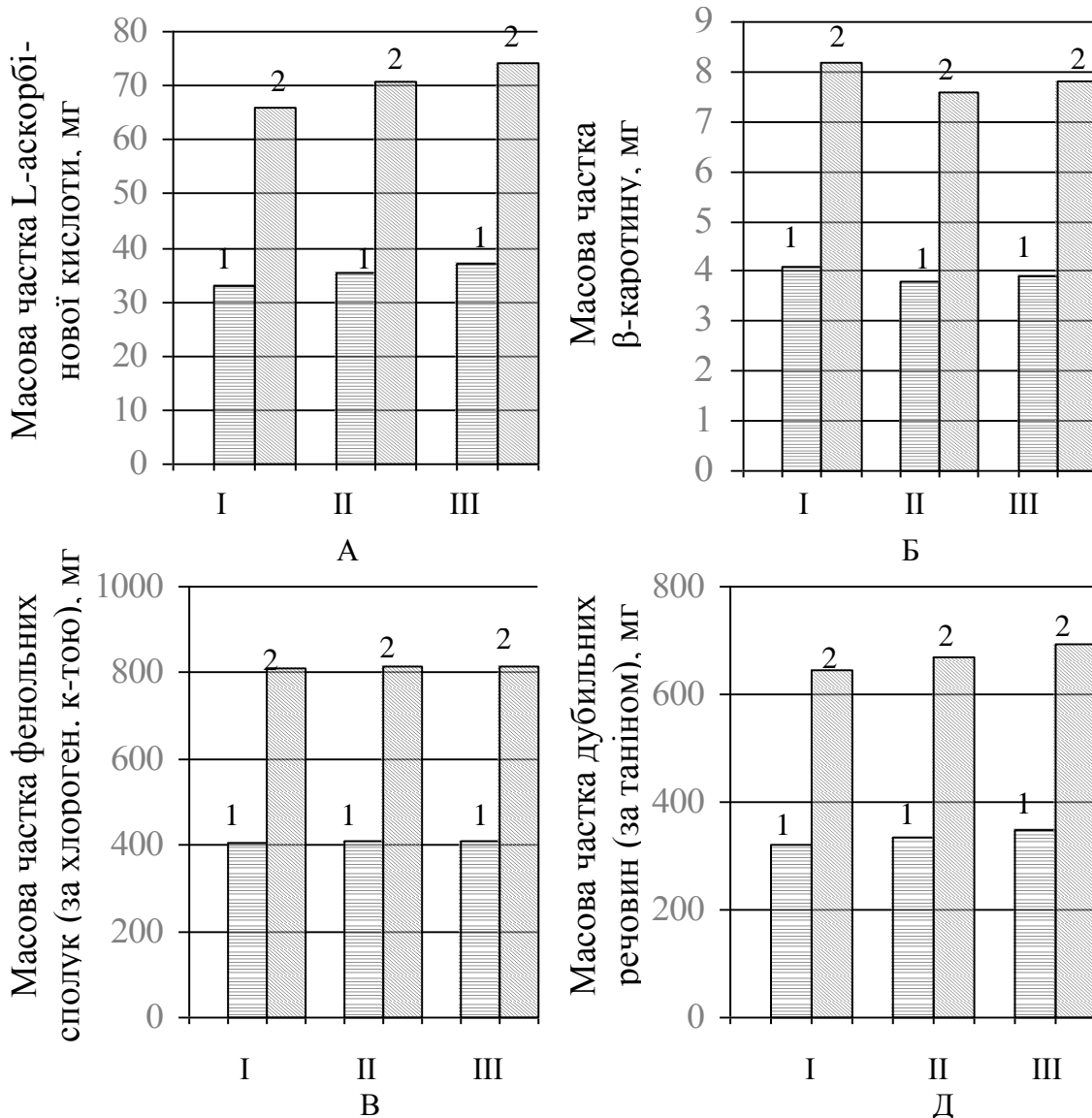


Рис. 8.1 – Вміст L-аскорбінової кислоти (А),  $\beta$ -каротину (Б), фенольних сполук (за хлорогеновою кислотою) (В) та дубильних речовин (за таніном) (Д) в 100 мл (1) та в стакані (200 мл) (2) відновлених водою «Instant» нанонапоїв отриманих із застосуванням порошкоподібних дрібнодисперсних криодобавок, де I, II, III – відновлені нанонапої «Топі-Каротинка» (I), «Топі-Фрукт» (II) та «Топі-Цитринка» (III)

Також у 200 мл напоїв міститься 1,5 добової потреби в  $\beta$ -каротині (7,6...8,2 мг), значна кількість фенольних сполук (1647,8...1658,3 мг) та дубильних речовин (644,4...693,6 мг). Вміст L-аскорбінової кислоти,  $\beta$ -каротину, фенольних сполук (за хлорогеновою кислотою) та дубильних речовин в 100 мл та в 1 склянці (200 мл) відновлених водою «Instant» нанопоїв «Топі-Каротинка», «Топі-Фрукт» та «Топі-Цитринка» із застосуванням порошкоподібних дрібнодисперсних добавок із топінambuра та інших видів плодово-вочевої сировини, представлений у вигляді діаграм, зображених на рисунку 8.1.

Таким чином, вищенаведені результати свідчать про переваги подібних продуктів, їх харчову та біологічну цінність та демонструють перспективність поширення їх як на вітчизняному, так і на світовому ринку. На відміну від традиційної продукції, в «Instant» нанопоєх відсутні синтетичні компоненти. Розроблені види напоїв можуть бути рекомендовані до вживання як оздоровчі продукти.

### **Висновки до розділу 8**

1. Розроблені рецептури, технологічна схема та технологія порошкоподібних «Instant» нанопоїв із застосуванням як інновації дрібнодисперсних кріодобавок у формі порошоків сублимаційного сушіння із топінambuра, а також з гарбуза, яблука, лимонів та апельсинів з цедрою.

2. Показано, що нові «Instant» нанопої при додаванні води легко відновлюються, відтворюючи смак, аромат, зовнішній вигляд та консистенцію натуральних соків. Крім того, розроблені «Instant» нанопої відрізняються рекордним вмістом біологічно активних фітокомпонентів, зокрема,  $\beta$ -каротину, низькомолекулярних фенольних сполук, дубильних речовин, L-аскорбінової кислоти тощо та пребіотичних речовин (інуліну, пектину та ін.). Нові порошкоподібні напої за вмістом БАР перевищують відомі аналоги.

3. Нові «Instant» нанопої отримані з використанням порошкоподібних дрібнодисперсних добавок із топінambuра пройшли апробацію у виробничих умовах (м. Харків, ПП «Науково-виробниче підприємство Кріас-Плюс»), де вироблені дослідні партії.

## Список літератури до розділу 8

1. Павлюк Р. Ю. Розробка технології консервованих вітамінних фітодобавок і їх використання в продуктах харчування профілактичної дії: автореф. ... дис. д-ра техн. наук: 05.18.13. Одеса, 1996. 36 с.
2. Способ производства диабетических вафель: пат. Российской Федерации № 2434526 МПК А21D13/08 / Квасенков О. И.; заявитель и патентообладатель Квасенков О. И. № 2010126945/10; заявл. 02.07.10; опубл. 20.11.11, Бюл. № 12. 5 с.
3. Павлюк Р.Ю. и др. Новые технологии витаминных углеводсодержащих фитодобавок и их использование в продуктах профилактического действия: монография. – Харьков; – Киев. 1997. 285 с.
4. Павлюк Р.Ю. и др. Кристо- и механохимия в пищевых технологиях: монография. Х.: Факт, 2015. 255 с.
5. Энциклопедия питания: в 10 т. Т. 5. Биологически активные добавки / под. общ. ред. Р.Ю. Павлюк; В.В. Погарской и др. Х.: Мир Книг, 2017. 406 с.
6. Васильева Е.А. Использование добавок из топинамбура для расширения ассортимента продукции // Хранение и переработка сельхозсырья. 2007. №1. С. 51-53.
7. Кондратенко В.В., Купин Г.А., Шаззо Р.С., Екутич Р.И. Комплексная переработка топинамбура на продукты питания функционального назначения // Инновационные технологии в области холодильного хранения и переработки пищевых продуктов. 2008. С. 132-133.
8. Погарская В. В. и др. Активация гидрофильных свойств каротиноидов растительного сырья: монография. Х.: Фінарт, 2013. 345 с.

## **РОЗДІЛ 9 НОВЕ ПОКОЛІННЯ НАТУРАЛЬНОГО НИЗЬКОКАЛОРИЙНОГО ОЗДОРОВЧОГО МОРОЗИВА З ВИКОРИСТАННЯМ КРІОДОБАВОК ІЗ ПЛОДІВ, ОВОЧІВ І ТОПІНАМБУРА**

У завдання роботи входила розробка рецептур, технологічних схем і технології нових низькокалорійних видів плодово-ягідного номорозива і парфе з високим вмістом рослинних БАР для оздоровчого харчування. Відмінною особливістю нових видів морозива є використання в якості основи сумішей або міксів натуральних рослинних добавок із фруктів, овочів і топінамбура в формі наноструктурованих заморожених пюре, які одночасно є збагачувачами натуральними БАР, загусниками, структуроутворювачами, барвниками та ароматизаторами. Дрібнодисперсні заморожені пюре з фруктів отримані з використанням кріогенної нанотехнології. Основною метою в роботі є отримання вітамінізованого низькокалорійного морозива з високим вмістом БАР для оздоровчого харчування, без штучних харчових добавок, а також без додаткового використання структуроутворювачів, барвників та ароматизаторів.

Сьогодні однією з важливих тенденцій розвитку харчової промисловості в світі є виробництво продуктів функціонального оздоровчого призначення, спрямованих на зміцнення здоров'я і підвищення імунітету, що пов'язано з незбалансованим харчуванням та з екологічною ситуацією в усьому світі [1-5]. У харчуванні спостерігається дефіцит таких функціональних інгредієнтів як вітаміни, каротиноїди, фенольні та дубильні речовини, природні антиоксиданти, повноцінні білки, поліненасичені жирні кислоти, мінеральні речовини, полісахариди та інші, які сприяють зміцненню імунітету [6-10, 11-13].

Серед харчових продуктів особливо користується великим попитом у населення всіх країн світу морозиво [12, 13]. Проте, морозиво є висококалорійним продуктом і відрізняється низьким вмістом БАР і для його виробництва використовуються різні штучні харчові компоненти [14-18]. Попередником цього продукту вважають фруктовий лід, виробництво якого з'явилося понад 3000 років тому в Китаї шляхом змішування зі снігом або льодом фруктових соків. В історичних документах є інформація про те, що воїни Олександра Македонського вгамовували спрагу саме фруктовим морозивом. Сьогодні виробництво і споживання морозива на душу населення в Україні становить 3,0...4,0 кг на рік, в Росії – 4,5 кг, в Швеції, Норвегії, Фінляндії –

12,0...14,0 кг, в США – 21,5...22,0 кг, в Австралії – 19,0 кг, в Канаді – 16,5 кг, Італії – 10,2 кг, Франції – 6,4 кг, Японії – 7,0 кг, Німеччині – 9,0 кг, Китаї – 2,2 кг [19-24, 25, 26]. Фізіологічна норма споживання морозива – 5,0 кг на рік (за даними Міністерства охорони здоров'я Росії). В даний час Український ринок морозива визнаний одним з найбільш розвинених ринків харчової галузі країни: на 14 найбільших виробників припадає 83% обсягу продукції, що випускається в країні. Конкуренція між ними дуже висока, обсяги експорту зростають високими темпами – до 100% на рік, а щорічне зростання обсягів морозива становить 15...20%. При цьому виробництво якісних молочних продуктів давно стало однією з основних проблем в харчовій промисловості України. Виробники морозива не є винятком. У процесі виробництва вони також шукають шляхи здешевлення собівартості. Результати тестування показують, що 6 із 7 марок використовують під час виробництва морозива кокосову або пальмову олію, інші рослинні жири, в тому числі саломаси – тверді жири, які отримують шляхом гідрогенізації рослинних олій і рідких жирів морських тварин і риб. Але молочне, вершкове морозиво і пломбір, відповідно до чинної нормативної документації, – це продукти виключно на молочній основі. Всі вони виготовляються виключно з молока і продуктів його переробки – вершків, масла, сухого молока тощо. А морозиво, в якому присутній немолочний жир, має називатися «з комбінованим складом сировини». Проте, виробники обмежуються словом «морозиво». Не хочуть вони зазначати і повний перелік харчових добавок. Так, наприклад, у брикетному морозиві їх може бути близько 200.

Сьогодні в Україні асортимент морозива дуже різноманітний. Практично весь асортимент морозива, який виробляється – це висококалорійні продукти, які відрізняються низьким вмістом БАР і значною кількістю різних синтетичних добавок, що знижують харчову, біологічну і фізіологічну цінність [19-24]. У зв'язку з цим, актуальним є створення морозива з високим вмістом натуральних БАР, мінімальною кількістю синтетичних компонентів та цукру. У даній роботі як інноваційний рецептурний компонент використовували заморожену гетерогенну дрібнодисперсну основу з фруктових сумішей-міксів, отриманих за криогенною нанотехнологією, що виступили в ролі збагачувачів БАР, загусників, структуроутворювачів та ароматизаторів, а також джерел простих цукрів та барвних речовин.

У зв'язку з цим в завдання роботи входило: розробити технологію та рецептури плодово-ягідного наноморозива для оздоровчого харчу-



вання з використанням як рецептурного компонента заморожених дрібнодисперсних добавок у формі наноструктурованого пюре з яблук, лимонів і апельсинів з цедрою, бананів, топінамбура, гарбуза, які одночасно являються джерелами БАР, загусниками, структуроутворювачами та ароматизаторами; вивчити якість та вміст БАР плодово-ягідного морозива під час виробництва, а також у порівнянні з аналогами і в процесі зберігання, розробити НД (технічні умови), провести апробацію в промислових умовах з метою впровадження в серійне виробництво; розробити технологію і рецептури комбінованого молочно-рослинного морозива парфе з високим вмістом БАР з використанням молочної сироватки та кріозаморожених дрібнодисперсних плодоовочевих добавок у формі наноструктурованих пюре з високим вмістом БАР, без штучних харчових домішок.

### **9.1 Розробка технології та рецептур нових видів плодово-ягідного наноморозива на основі дрібнодисперсних заморожених кріодобавок із фруктів та овочів**

У роботі розроблені рецептури, технологія та технологічна схема нових видів плодово-ягідного наноморозива з рекордним вмістом БАР на основі заморожених дрібнодисперсних плодових добавок у формі наноструктурованого пюре з лимонів, апельсинів, яблук, бананів, топінамбура, досліджено їх якість за змістом БАР, органолептичними, фізико-хімічними, мікробіологічними та структурно-механічними показниками якості; проведено порівняння якості ІЧ-спектрів нових видів плодово-ягідного морозива з аналогом, досліджено якість морозива в процесі зберігання. Як аналог використовували плодово-ягідне морозиво «Сніговик» виробництва ПрАТ «Хладопром» (м. Харків), до складу якого входить яблучне пюре, цукровий сироп, підварка з чорноплідної горобини, стабілізатори структури, ароматизатори ідентичні натуральним та ін.

В ХДУХТ розроблена технологія, технологічна схема і ряд рецептур вітамінного плодово-ягідного наноморозива для оздоровчого харчування, у яке як рецептурний компонент використовували гетерогенну дрібнодисперсну основу – суміші-мікси збагачуючих натуральних рослинних добавок у формі наноструктурованого пюре з фруктів «яблуко-банан-лимон-гарбузовий порошок», комплексне використання яких обґрунтовано в раціональному співвідношенні, які дозволяють отримати плодово-ягідне морозиво, яке відрізняється від традиційного покраще-

ними структурно-механічними характеристиками, оригінальним натуральним цитрусовим смаком і ароматом, без використання штучних харчових добавок (стабілізаторів структури, ароматизаторів та загусників) і з високим вмістом натуральних БАР. Кількість цукру вводили всього 5% для посилення смаку.

Жовто-помаранчевий колір морозива забезпечувало використання натурального компоненту – дрібнодисперсного порошку з гарбуза, розробленого на кафедрі харчових технологій продуктів із плодів, овочів і молока та інновацій в оздоровчому харчуванні (ТУУ 15.3-01566330-152). Оригінальний цитрусовий аромат забезпечувало використання дрібнодисперсних кріопюре з лимонів та апельсинів з цедрою, отриманих за безвідходною технологією (ТУ У 10.3-01566330-282).

Принципова технологічна схема виробництва нових видів плодово-ягідного наноморозива на основі сумішей-міксів – заморожених дрібнодисперсних добавок у формі пюре з фруктів представлена на рисунку 9.1.

Нова технологія від традиційних технологій отримання плодово-ягідного морозива відрізняється використанням інноваційного способу структуроутворення, що включає комплексне використання добавок у формі наноструктурованих заморожених кріопюре з суміші фруктів (яблук, лимонів і апельсинів з цедрою, бананів, гарбуза, топінамбура), як натуральних збагачувачів БАР, стабілізаторів структури, барвників та ароматизаторів, що дозволяє отримати морозиво без втрат вологоутримуючої властивості, з текстурою високої якості і високим вмістом БАР, яке легко та швидко засвоюється організмом людини.

Для плодово-ягідного морозива спочатку готується композиційна суміш у вигляді замороженого дрібнодисперсного міксу зі свіжих фруктів: яблук, бананів, лимонів для плодово-ягідного морозива «Лимончик»; яблук, бананів, апельсинів і лимонів для плодово-ягідного морозива «Вітамінчик» та для морозива «Тропік». Крім того, як натуральний барвник у суміш з фруктів вносять дрібнодисперсний порошок з гарбуза в кількості 10-15% (або в еквівалентній кількості заморожене пюре з гарбуза або моркви).

Нова технологія отримання плодово-ягідного морозива також включає приготування цукрового сиропу (який вводиться у кількості всього 5%), купажування гетерогенних дрібнодисперсних систем-сумішей («яблуко-банан-лимон-топінамбур-гарбузовий порошок»)

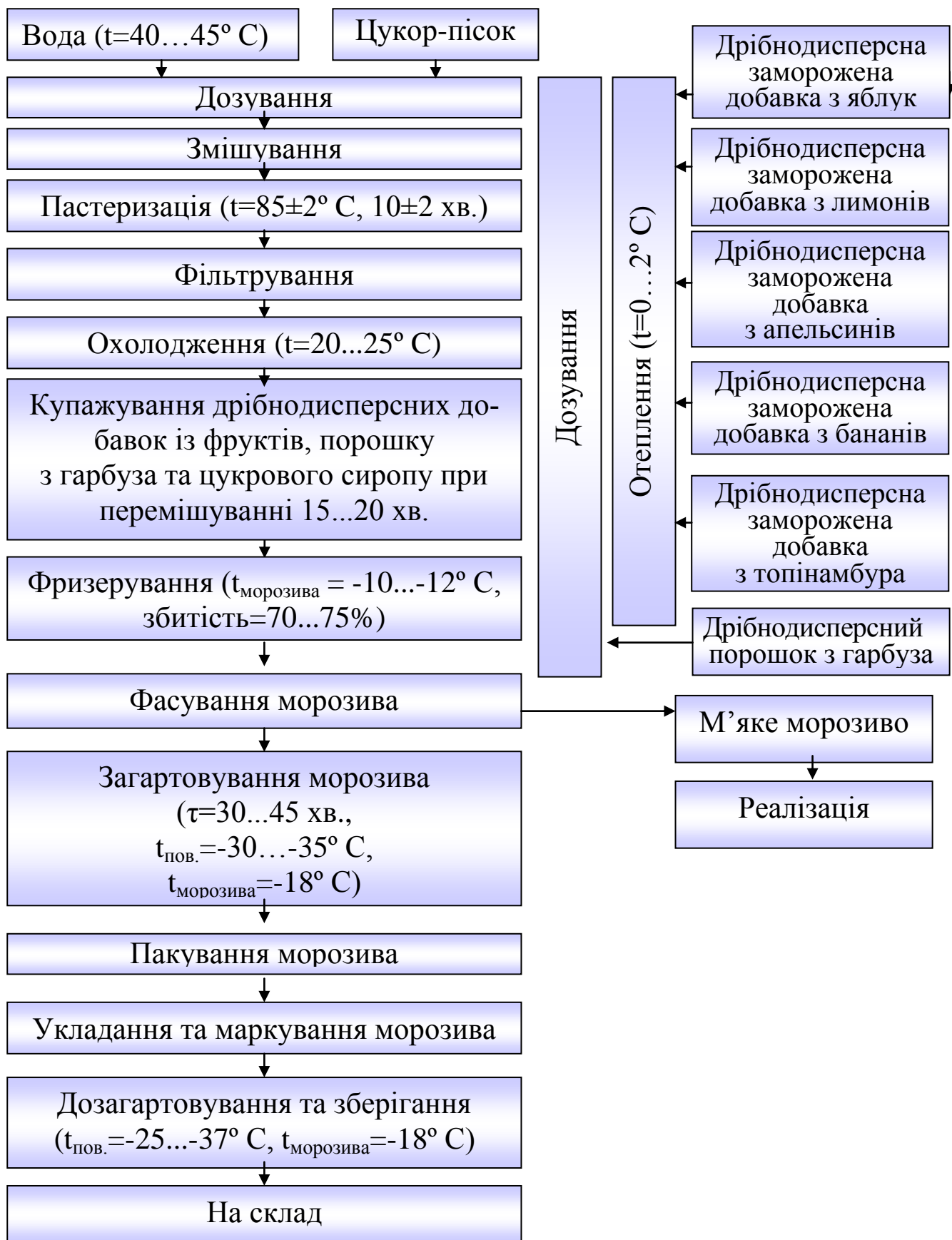


Рис. 9.1 - Принципова технологічна схема виробництва нових видів плодово-ягідного наноморозива на основі дрібнодисперсних сумішей-кріоміксів із фруктів, отриманих за криогенною технологією

перемішування купажної суміші протягом 15...20 хв за температури 82...87° С. Далі здійснюють охолодження до температури 4...6° С, фризеравання суміші морозива (температура морозива в кінці фризеравання становить -4...-6° С, збитість морозива 70...75%), фасування та загартовування морозива протягом 30...40 хв (температура повітря в морозильній камері -30...-35° С, температура морозива після загартовування -18° С). Остання стадія процесу – пакування, маркування, укладання морозива та дозагартовування в морозильній камері.

Вивчено якість нових видів низькокалорійного вітамінного плодово-ягідного наноморозива для оздоровчого харчування, збагаченого замороженими дрібнодисперсними добавками в формі наноструктурованих кріопоре з фруктів, отриманих із застосуванням процесів криодеструкції і механоактивації. Оцінку якості проводили за вмістом БАР, органолептичними, фізико-хімічними, структурно-механічними та мікробіологічними показниками (табл. 9.1, рис. 9.2). Як аналог для порівняння використовували плодово-ягідне морозиво «Сніговик», яке в промисловому масштабі випускається ПрАТ «Хладопром» (м. Харків).

Таблиця 9.1

Вміст БАР та харчових речовин у нових видах плодово-ягідного морозива на основі сумішей-міксів заморожених дрібнодисперсних добавок із фруктів та топінамбура

Найменування показника	Найменування плодово-ягідного морозива			
	«Сніговик» (аналог)	«Лимончик»	«Вітамінчик»	«Тропик»
L-аскорбінова к-та, мг в 100 г	6,5 ±0,03	77,0±2,6	81,2±2,9	80,5±2,8
Фенольні сполуки (за хлорогеновою к-тою), мг в 100 г	43,0±2,3	423,0±6,8	412,8±7,0	416,4±6,8
Флавонолові глікозиди (за рутином), мг в 100 г	27,1±1,1	230,2±3,3	226,8±3,3	226,6±3,3
Вільні катехіни (за d-катехіном), мг в 100 г	23,5±1,0	183,1±2,3	178,1±4,1	178,0±3,2
Дубильні речовини (за таніном), мг в 100 г	48,7±2,9	314,7±5,3	296,2±5,5	297,9±5,4
Пектинові речовини, %	0,1±0,01	3,4±0,1	3,3±0,1	3,3 ±0,1
Мінеральні речовини, мг:				
К	13,1±0,8	263,3±3,8	330,5±4,1	356,0±4,3
Са	0,3±0,01	13,1±0,7	14,5±0,9	13,7±0,7
Fe	0,1±0,01	1,7±0,1	1,5±0,1	1,6±0,1
Mg	0,3±0,01	14,8±0,9	17,8±1,1	17,9±1,1
Сухі речовини, %	25,0±1,2	25,5±1,2	26,1±1,2	26,0±1,2
Органічні кислоти (в перерахунку на яблучну), %	0,4±0,01	0,6±0,01	0,06±0,01	0,06±0,01
Загальний цукор, %	22,0±1,2	8,5±0,2	8,9±0,5	7,8±0,4
Білок, %	1,0±0,1	5,5±0,4	5,6±0,3	5,8±0,4
Целюлоза, %	0	6,4±0,3	7,0±0,2	6,8±0,5

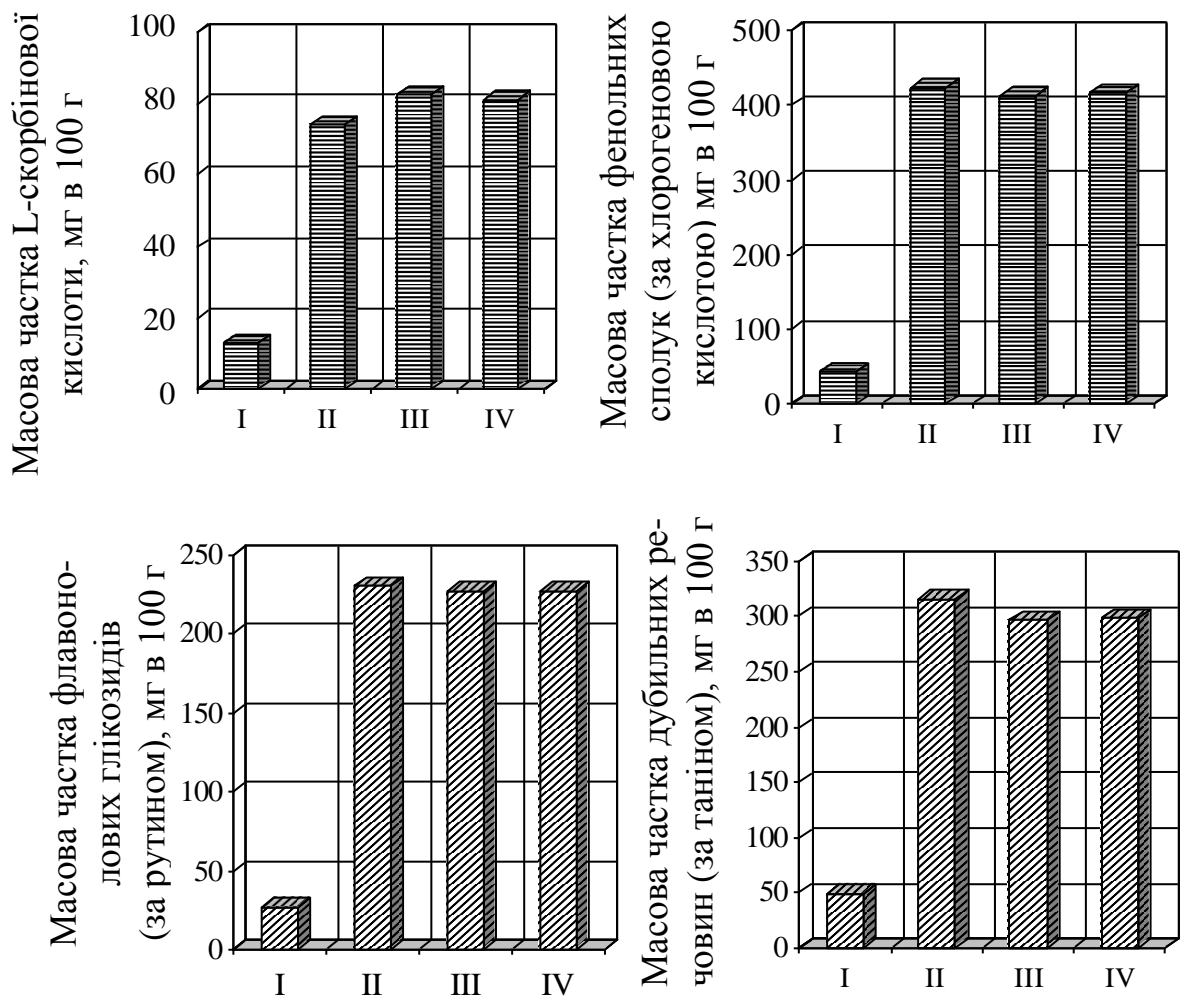


Рис. 9.2 - Вміст L-аскорбінової кислоти (А), фенольних сполук (за хлорогеновою кислотою) (Б), флавонолових глікозидів (за рутином) (В), дубильних речовин (за таніном) (Г) в нових видах плодово-ягідного морозива в порівнянні з аналогом, де: 1 – плодово-ягідне морозиво «Сніговик» (аналог), 2-4 – плодово-ягідне морозиво «Лимончик» (2), «Вітамінчик» (3), «Тропік» (4)

Показано, що нові види вітамінного плодово-ягідного морозива для оздоровчого харчування відрізняються високим вмістом БАР, що сприяють зміцненню імунітету, значно перевершують аналоги та не містять шкідливих харчових домішок (табл. 9.1, рис. 9.2).

Показано, що нові види вітамінного плодово-ягідного морозива для оздоровчого харчування мають оригінальний смак і аромат натурального продукту і відрізняються від аналогів високим вмістом L-аскорбінової кислоти, фенольних сполук, дубильних речовин, пектинових, мінеральних речовин та інших БАР. Показано, що в 100 г плодово-ягідного морозива «Вітамінчик», «Тропік» та «Лимончик» міститься добова норма вітаміну С (81,2; 80,5; 77,0 мг в 100 г відповідно), що за даними

ФАО-ВОЗ дає можливість це морозиво віднести до продуктів для здорового харчування.

Встановлено також, що нові види морозива відрізняються значним вмістом фенольних сполук, дубильних речовин, які, як відомо, гасять вільні окиснювальні радикали в організмі людини, мають імунomodуючу та детоксикуючу дію, тобто здатні виводити з ШКТ шкідливі токсичні речовини. Показано, що масова частка фенольних сполук (за хлорогеновою кислотою) становить 412,8...423,0 мг в 100 г, флавонолових глікозидів – 226,6...230,2 мг в 100 г, вільних катехінів (за d-катехіном) – 178,0...183,1 мг в 100 г, дубильних речовин (за таніном) – 296,2...314,7 мг в 100 г. Показано також, що наноморозиво містить також пребіотичні речовини (пектин, целюлозу), мінеральні речовини, білок, тощо (табл. 9.1).

Вивчення органолептичних показників нових видів вітамінного плодово-ягідного наноморозива для оздоровчого харчування показало, що всі вони мають чистий, характерний кисло-солодкий смак і приємний оригінальний аромат, властивий внесеним фруктовим добавкам без сторонніх присмаків та запахів, однорідну, ніжну, рівномірно забарвлену заморожену структуру та консистенцію і не містять штучних харчових домішок.

Таким чином, на підставі отриманих результатів досліджень якості розроблених нових видів низькокалорійного вітамінізованого плодово-ягідного морозива для оздоровчого харчування, можна зробити висновок, що нове морозиво за вмістом БАР (аскорбіновою кислотою, фенольних сполук, дубильних речовин та ін.), має потенційну імунomodуючу дію і їх можна віднести до функціональних оздоровчих продуктів, які зміцнюють захисні сили організму до різних несприятливих факторів і мають статус продуктів для здорового харчування.

Обов'язковим інгредієнтом всіх видів морозива є стабілізатори, які вводять в суміш для поліпшення структури і консистенції морозива. До стабілізаторів, що широко використовуються в технології морозива, відносяться гідроколоїди натурального або синтетичного походження: екстудати рослин (гуміарабік, камедь карайя), камеді насіння (гуарова камедь, камедь рожкового дерева), екстракти водоростей (агар, альгінати, карагінан), пектини, целюлози (карбоксиметилцелюлоза натрію, мікрокристалічна целюлоза, метил-, метиетиленцелюлоза) та ін. Ці речовини складаються з дуже великих просторових макромолекул полімерів та мають здатність взаємодіяти з водою за допомогою гідратації та набрякання, а також мають здатність до міжмолекулярної взаємодії, утворюю-

чи з молекул полімеру сітчасту структуру. Вони зв'язують частину вільної води в сумішах, збільшують їх в'язкість та здатність до збивання, підвищують дисперсність повітряних бульбашок. Все це сприяє формуванню в морозиві більш дрібних кристалів льоду, кращому збереженню вихідної структури продукту при зберіганні, збільшує збитість і опірність морозива до танення і в кінцевому підсумку забезпечує морозиву його товарний вигляд та гарну текстуру.

У даній роботі як натуральні стабілізатори структури та загусники виконували гетерогенні дрібнодисперсні кріосуміші в формі міксів – збагачуючих натуральних рослинних добавок «яблуко-банан-лимон-топінамбур-гарбузовий порошок» та ін. Використання гетерогенних дрібнодисперсних плодоовочевих кріосумішей в рецептурах нових видів плодово-ягідного наноморозива, очевидно, має впливати не тільки на зміну органолептичних та фізико-хімічних показників продукту, а й на його структурно-механічні показники якості (ступінь збитості, об'ємна частка повітря, опірність і швидкість танення морозива). Тому в завдання цієї роботи входило дослідити вплив гетерогенних дрібнодисперсних сумішей в формі міксів натуральних дрібнодисперсних рослинних нано-добавок із фруктів на ступінь збитості, об'ємну частку повітря, опірність і швидкість танення морозива.

Зниження швидкості танення морозива – одна з важливих функцій стабілізаторів разом з такими, як здатність підвищувати в'язкість суміші до потрібних меж, впливати на ступінь насичення суміші повітрям, покращувати структуру продукту, перешкоджати утворенню та росту кристалів льоду, а також синерезису. Вплив гетерогенних дрібнодисперсних кріо-міксів із фруктів на швидкість танення плодово-ягідного морозива представлено на рисунку 9.3.

Показано, що застосування гетерогенних дрібнодисперсних кріо-міксів – збагачуючих натуральних рослинних добавок із фруктів (яблук, лимонів і апельсинів з цедрою, топінамбура, бананів) зменшує швидкість танення нових видів плодово-ягідного наноморозива майже в 2 рази в порівнянні з аналогом (плодово-ягідне морозиво «Сніговик»).

Якість морозива в значній мірі залежить від дисперсності повітря, введеного в процесі фризювання суміші, яку оцінюють за ступенем збитості, об'ємною часткою повітря і опірністю танення. Результати дослідження структурно-механічних показників якості нових видів вітамінізованого плодово-ягідного наноморозива в порівнянні з аналогом представлені в таблиці 9.2, рис. 9.4.

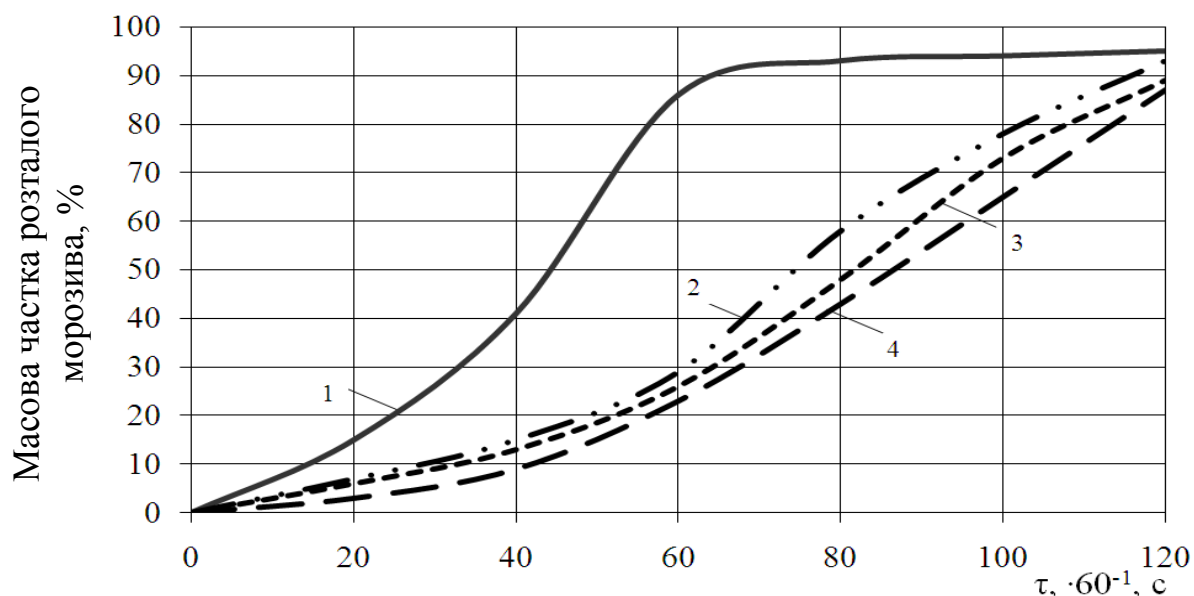


Рис. 9.3 - Вплив дрібнодисперсних кріодобавок із фруктів на швидкість танення плодово-ягідного наноморозива в порівнянні з аналогом, де: 1-4 – плодово-ягідне морозиво «Сніговик» (аналог) (1), «Лимончик» (2), «Вітамінчик» (3), «Тропік» (4)

Таблиця 9.2

Структурно-механічні показники якості нових видів вітамінізованого плодово-ягідного морозива в порівнянні з аналогом (n=3, P≥0,95)

Найменування показника	Найменування плодово-ягідного морозива			
	«Сніговик» (аналог)	«Лимончик»	«Вітамінчик»	«Тропік»
Збитість, %	65	70	73	74
Об'ємна частка повітря, частки од.	0,38	0,4	0,41	0,43
Опірність танення, хв.	43,5	55,2	57,3	61,8

Показано, що в нових видах плодово-ягідного морозива структурно-механічні показники якості були краще в порівнянні з аналогом. Так, збитість плодово-ягідного морозива становила 70...74%, в аналозі – 65%, тобто на 10% менше. Об'ємна частка повітря – 0,4...0,43 частки од., в аналозі – 0,38 частки од. (також на 10% менше). Опірність таненню в нових видах морозива становила 55,2...61,8 хв., в аналозі – 43,5 хв., тобто на 10-15% повільніше в нових зразках морозива.



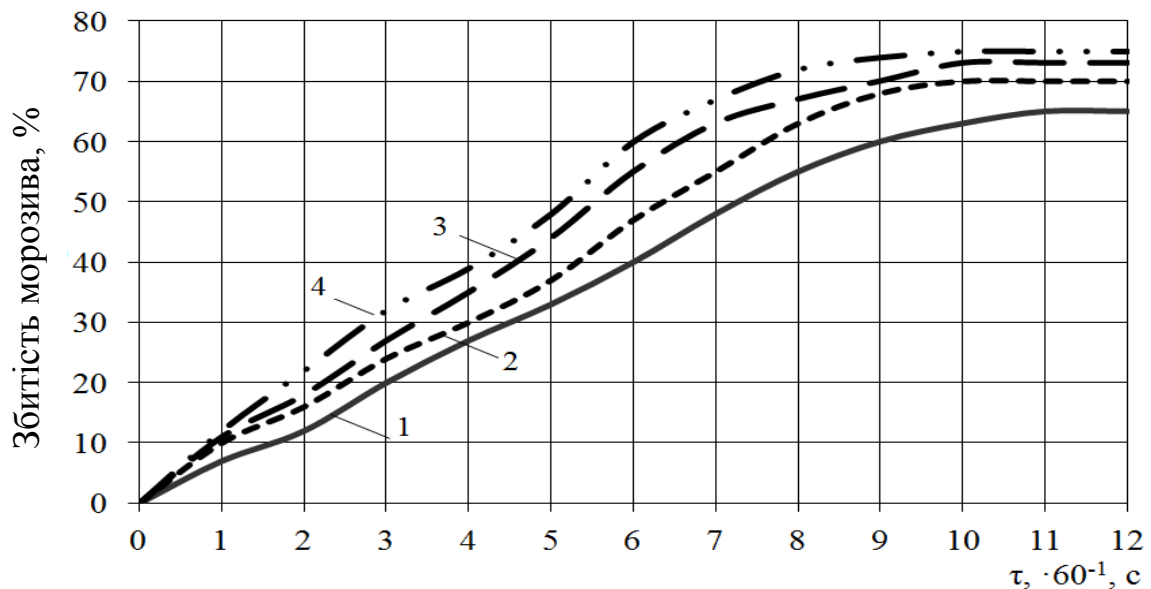


Рис. 9.4 - Вплив дрібнодисперсних кріодобавок із фруктів та овочів на збитість морозива в порівнянні з аналогом в процесі фризеравання, де 1-4 – плодово-ягідне морозиво «Сніговик» (аналог) (1), і нові види морозива «Лимончик» (2), «Вітамінчик» (3), «Тропик» (4)

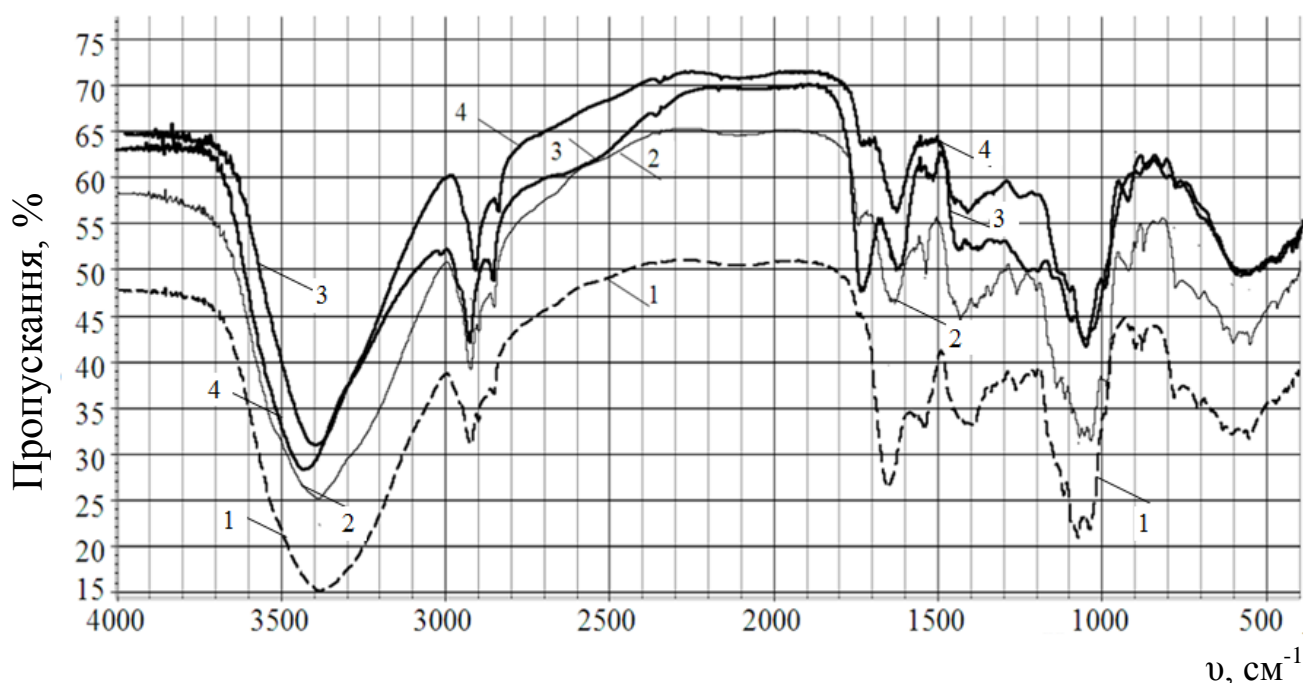
Показано, що найбільшу збитість суміші плодово-ягідного морозива досягають через 8...10 хв. Плодово-ягідне морозиво «Лимончик», «Вітамінчик», «Тропик» мають кращі показники збитості в порівнянні з аналогом. Так, збитість морозива «Лимончик» становить 70%, «Вітамінчик» – 73%, «Тропик» – 75%, а зразка-аналога – 65%.

Таким чином, під час дослідження структурно-механічних показників якості нових видів вітамінізованого плодово-ягідного морозива, виявлена стабілізуюча та структуроутворююча дія введених в них гетерогенних дрібнодисперсних кріо-міксів – збагачуючих натуральних рослинних кріодобавок, які одночасно виконують функцію натуральних збагачувачів БАР, структуроутворювачів, ароматизаторів та барвників, що корелює з текстурою морозива.

Інформація про якість нових видів плодово-ягідного морозива в порівнянні з аналогом була доповнена використанням спектроскопічного аналізу (рис. 9.5).

Механізм структуроутворення та стабілізації структури в нових видах морозива був підтверджений методом спектрального аналізу під час визначення утворення нових зв'язків та комплексоутворення між функціональними групами фруктових дрібнодисперсних кріосистем та утворення нанокомплексів в морозиві, яке робить структуру та текстуру стійкою без додавання стабілізаторів та загусників.

При порівнянні ІЧ-спектрів нових видів плодово-ягідного морозива, збагачених дрібнодисперсними замороженими кріодобавками в формі наноструктурованих поре з яблук, лимонів і апельсинів з цедрою, топінамбура, бананів та гарбуза було показано, що в області частот від 3000 до 3600  $\text{cm}^{-1}$ , характерних для валентних коливань функціональних груп -ОН, що беруть участь в утворенні внутрішньомолекулярних та міжмолекулярних водневих зв'язків, і входять до складу вільної і зв'язаної води, фенольних сполук, дубильних речовин, цукрів, біополімерів та ін., спостерігається збільшення інтенсивності спектрів та утворення додаткових водневих зв'язків, а також відбувається міжмолекулярна перебудова та комплексоутворення асоціатів різних комплексів сполук – органічних кислот, білків, амінокислот, спиртів, кетонів тощо, за рахунок додавання заморожених дрібнодисперсних добавок у формі



Валентні коливання груп, $\text{cm}^{-1}$				
ОН	NH	CH	S-H	C=O
3645...2500	3500...3300	3350...2850	2600...2550	1750...1720
Валентні коливання груп, $\text{cm}^{-1}$				
C-O-	COOH	S=S	C=N	CH <sub>3</sub>
1300...1000	1750...1700	550...450	1230...1030	1470...1355

Рис. 9.5 - ІЧ-спектри нових видів плодово-ягідного морозива, де: 1 – морозиво «Сніговик» (аналог) 2, 3, 4 – нові види плодово-ягідного морозива «Вітамінчик» (2), «Лимончик» (3), «Тропик» (4)

наноструктурованого пюре з фруктів з високим вмістом розчинних пектинових речовин, амінокислот та ін., що корелює з текстурою морозива і більш густою консистенцією продукту та його структурно-механічними властивостями (ступенем збитості, об'ємною часткою повітря, опірністю і швидкістю танення морозива).

Показано також, що в області частот  $\nu=2900\text{...}2000\text{ см}^{-1}$ , характерних для валентних коливань  $-\text{NH}_2$  і  $-\text{NH}$  груп, а також в області  $\nu=1700\text{...}1100\text{ см}^{-1}$ , характерних для валентних коливань  $-\text{C}-\text{O}$  груп, спостерігається збільшення інтенсивності спектрів поглинання в нових видах морозива в порівнянні з аналогом, що свідчить про збільшення кількості ефірів, спиртів, ароматичних речовин терпеноїдної природи та  $\alpha$ -кислот, за рахунок внесення в продукт замороженої дрібнодисперсної добавки в формі наноструктурованого пюре з фруктів.

Таким чином, методом спектроскопії, виявлено стабілізуючу дію заморожених дрібнодисперсних кріодобавок із фруктів та топінамбура, підвищену здатність до зв'язування води шляхом утворення водневих зв'язків, а також комплексоутворення з біополімерами (пектинами, білками, целюлозою, дубильними речовинами) рослинних добавок і утворення їх асоціатів або комплексів колоїдів і стабільної структури морозива без додаткового застосування стабілізаторів структури.

Досліджено також якість нових видів плодово-ягідного морозива для оздоровчого харчування в процесі зберігання при температурі  $-18^\circ\text{C}$ .

Показано, що якість нових видів плодово-ягідного морозива, збагачених замороженими дрібнодисперсними плодовоовочевими кріодобавками протягом 12 місяців практично не змінювалася. Втрати L-аскорбінової кислоти після зберігання впродовж 12 місяців становили 3...4%. Загальна кількість мікроорганізмів в нових видах морозива в кінці зберігання становила  $0,6 \times 10^5\text{...}0,7 \times 10^5$  КУО в 1 г, що не перевищує допустимих норм для таких продуктів відповідно до чинної документації.

Нові види плодово-ягідного морозива з використанням збагачуючих дрібнодисперсних заморожених кріодобавок в формі наноструктурованих кріопюре та порошку пройшли апробацію у виробничих умовах і вироблені дослідні партії на ТОВ СУП «Полюс ЛТД», НПФ «КРІАС ПЛЮС».

## **9.2 Розробка технології та рецептур нового морозива парфе з використанням молочної сироватки та дрібнодисперсних кріодобавок із фруктів, овочів та топінамбура**

В задачу роботи також входила розробка рецептур, технології та технологічної схеми нового виду морозива парфе з використанням сироватки молочної та заморожених кріопюре з фруктів (яблук, ли-

монів з цедрою, апельсинів з цедрою, бананів) та овочів (топінамбура та гарбуза).

Парфе (parfait) – це заморожений десерт, який виготовлено з натуральних молочних продуктів (жирних вершків, молока, масла), цукру та для ароматизації використовують натуральні ароматизатори (ваніль, ром, бренді, лікер, каву, шоколад, ягоди, фрукти та ін.

Парфе – це морозиво пломбір, до складу якого входять тільки натуральні молочні рецептурні компоненти без додавання синтетичних ароматизаторів, стабілізаторів структури, емульгаторів, барвників та загусників.

Розроблено три рецептури морозива парфе 15% жирності для оздоровчого харчування, в яких як рецептурні компоненти використовували суміші з плодів та овочів – мікси в кількості від 15 до 30% та молочну сироватку. Це дозволило отримати морозиво парфе високої якості з покращеними структурно-механічними характеристиками, з натуральним цитрусовим ароматом, помаранчевого кольору (без хімічних барвників), без харчових домішок (зокрема, стабілізаторів структури, ароматизаторів та загусників).

Було встановлено оптимальне співвідношення і дози внесення сироватки молочної та гетерогенних дрібнодисперсних систем в формі дрібнодисперсних пюре з яблук, лимонів і апельсинів з цедрою, топінambuра, бананів. Нові види морозива парфе отримали наступні назви: «Мілктропик» з додаванням 15% гетерогенної дрібнодисперсної суміші «Апельсин-лимон-топінambuр» у співвідношенні 2:1:1, «Мілкоранж» з додаванням 20% гетерогенної дрібнодисперсної суміші «яблуко-апельсин-топінambuр» у співвідношенні 1:1:1, «Мультимілк тропик» з додаванням 30% гетерогенної дрібнодисперсної системи «яблуко-банан-лимон-топінambuр» у співвідношенні 1:1:1:1. Жовто-оранжевий колір забезпечувало використання дрібнодисперсного порошку з гарбуза, розроблені на кафедрі харчових технологій продуктів із плодів, овочів і молока та інновацій в оздоровчому харчуванні (ТУУ 15.3-01566330-152).

На підставі експериментальних досліджень розроблена технологія нових видів морозива парфе з використанням молочної сироватки, збагачених замороженими дрібнодисперсними добавками в формі наноструктурованного пюре з яблук, лимонів і апельсинів з цедрою, топінambuра, бананів. Експериментально визначено й обґрунтовано режимні параметри технології.

Принципова технологічна схема виробництва нових видів морозива парфе з використанням молочної сироватки та сумішей-міксів збагачуючих натуральних рослинних добавок у формі наноструктурованого пюре з фруктів та овочів представлена на рис. 9.6.

Для морозива парфе спочатку готується композиційна суміш у вигляді замороженого дрібнодисперсного мікса зі свіжих фруктів і овочів. Крім того, як натуральний барвник у суміш з фруктів вносять дрібнодисперсний порошок із гарбуза в кількості 3...5% (або в еквівалентній кількості заморожене пюре з гарбуза або моркви).

Нова технологія отримання морозива парфе відрізняється використанням гетерогенних дрібнодисперсних сумішей в формі наноструктурованих пюре з фруктів (яблук, лимонів і апельсинів з цедрою, топінамбура, бананів) і молочної сироватки свіжої пастеризованої (ЗАТ «Куп'янський молочноконсервний комбінат» (м. Куп'янськ, Харківська обл.) і складається з підготовки та дозування рецептурних компонентів, складання молочної суміші для морозива, її пастеризації при температурі +80...+85° С протягом 10 хв, фільтрації суміші морозива, гомогенізації (P=12,5 МПа) і охолодження суміші до температури дозрівання +4...+6° С, проведення дозрівання суміші протягом 4...6 годин, внесення при постійному перемішуванні купажу композиційної суміші в формі дрібнодисперсних пюре з фруктів (яблук, лимонів і апельсинів з цедрою, топінамбура, бананів), дрібнодисперсного порошку з гарбуза та цукрового сиропу (в 2 рази менше, ніж при традиційному способі виробництва), фризювання суміші морозива (температура морозива в кінці фризювання становить -4...-6° С, збитість морозива 100...110%), фасування і загартовування морозива протягом 30...40 хв. (температура повітря в шоківій морозильній камері -30...-35° С, температура морозива після загартовування -18° С), пакування, маркування, укладання і дозагартовування готового продукту. Перераховані технологічні параметри були обґрунтовані експериментально та відображені в технологічній інструкції до проекту ТУ У 15.5-01566330-292:2019 «Морозиво оздоровче збагачене рослинними міксами».

Показано, що нові види морозива парфе для оздоровчого харчування відрізняються високим вмістом БАР, що сприяють зміцненню імунітету (табл. 9.3, рис. 9.7). Так, в 100 г парфе «Мілкоранж» і «Мультимілк тропік» міститься 0,5 добової норми вітаміну С (51,2 і 53,0 мг в 100 г відповідно). Найменшим вмістом вітаміну С відрізняється парфе «Мілк тропік» – 42,2 мг в 100 г, що становить 0,5 добової потреби людини в цьому вітаміні.

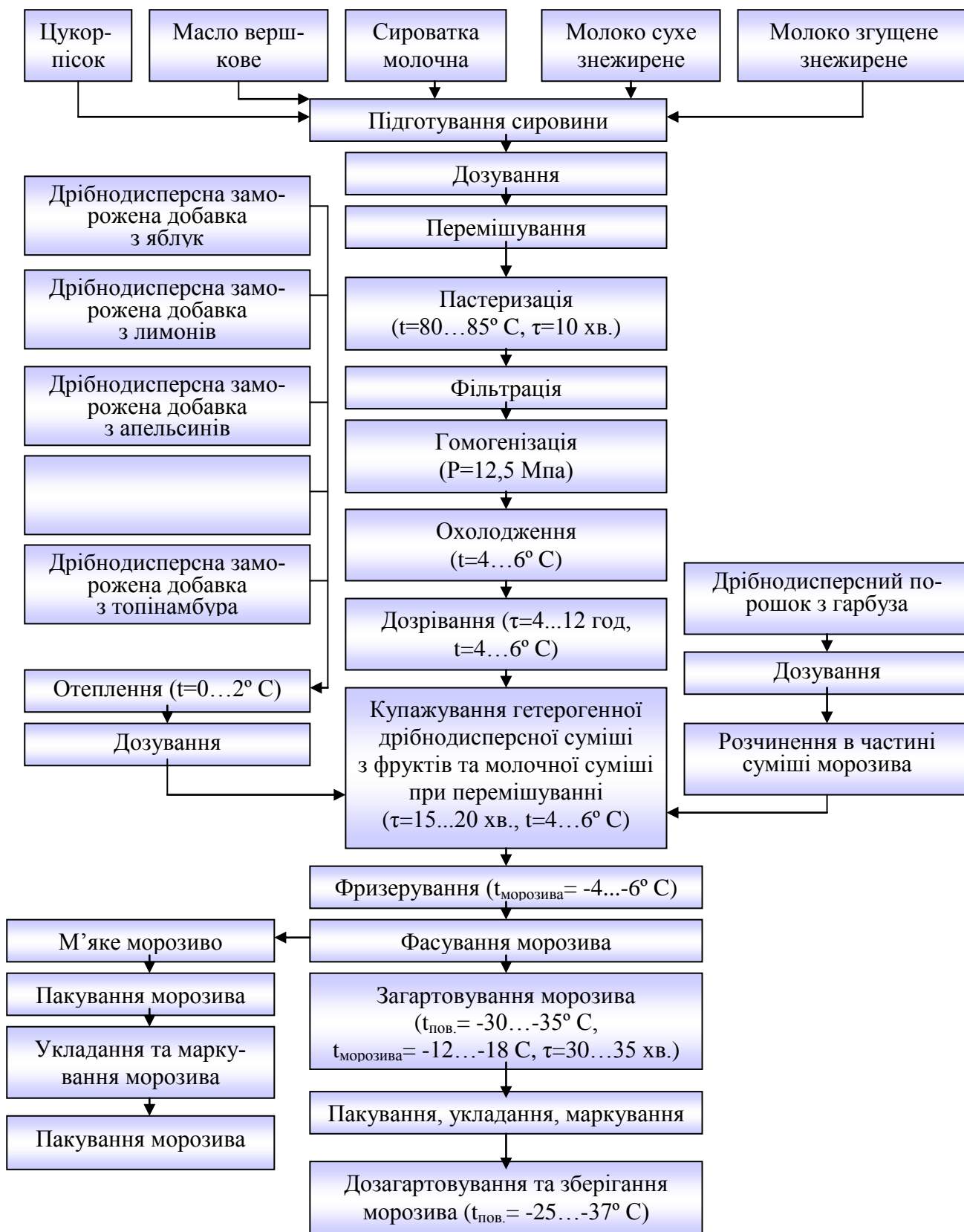


Рис. 9.6 - Принципова технологічна схема виробництва нових видів морозива парфе з використанням молочної сироватки та сумішей-міксів збагачуючих натуральних рослинних кріодобавок

Також нові види морозива відрізняються значним вмістом фенольних сполук, дубильних, пектинових і мінеральних речовин та ін. БАР. Показано, що масова частка фенольних сполук (за хлорогеновою кислотою) становить 101,4...153,7 мг в 100 г, флавонолових глікозидів – 32,1...58,1 мг в 100 г, вільних катехінів (за d-катехіном) – 21,5...41,5 мг в 100 г, дубильних речовин (за таніном) – 38,4...91,4 мг в 100 г, що становить понад 1 добової потреби людини в перелічених БАР.

Таблиця 9.3

Вміст БАР в нових видах оздоровчого морозива парфе з використанням молочної сироватки та сумішей-міксів – кріодобавок із плодів та овочів

Найменування показника	Найменування морозива парфе			
	«Цитрусовий конфітюр» (аналог)	«Мілк тропік»	«Мілк-оранж»	«Мульти-мілк тропік»
L-аскорбінова кислота, мг в 100 г	4,3 ±0,03	42,2±3,1	51,2±2,4	53,8±2,3
Фенольні сполуки (за хлорогеновою кислотою), мг в 100 г	17,2±1,0	101,4±2,3	112,4±3,2	153,7±4,2
Флавонолові глікозиди (за рутином), мг в 100 г	6,1 ±0,03	33,2±2,0	32,1±2,0	58,1±1,7
Вільні катехіни (за d-катехіном), мг в 100 г	5,3 ±0,03	22,6±1,1	21,5±1,1	41,2±2,7
Дубильні речовини (за таніном), мг в 100 г	9,2±1,2	38,4±2,7	60,6±1,8	91,4±3,0
Пектинові речовини, %	–	1,8±0,01	1,8±0,01	2,2±0,01
Мінеральні речовини, мг:				
K	161,0±3,2	142,0±3,1	144,0±3,1	188,8±3,3
Ca	159,0±3,2	150,0±3,2	147,0±3,2	117,7±3,0
Fe	0,2±0,01	0,2±0,01	0,4±0,01	0,5±0,01
Mg	22,0±1,1	19,5±1,1	19,8±1,1	24,7±1,2
Білок, %	0	5,2±0,5	5,5±0,4	5,6±0,5

Показано, що вміст сухих речовин в нових видах морозива парфе з використанням молочної сироватки та заморожених дрібнодисперсних добавок з фруктів – 39,9...42,0%, органічних кислот – 0,35...0,41%, загального цукру – 8,0...10,0%. Кількість мезофільних аеробних та факультативно анаеробних мікроорганізмів в морозиві становить  $0,5 \times 10^5$  КУО/см<sup>3</sup>, що суттєво нижче норм, передбачених НД.

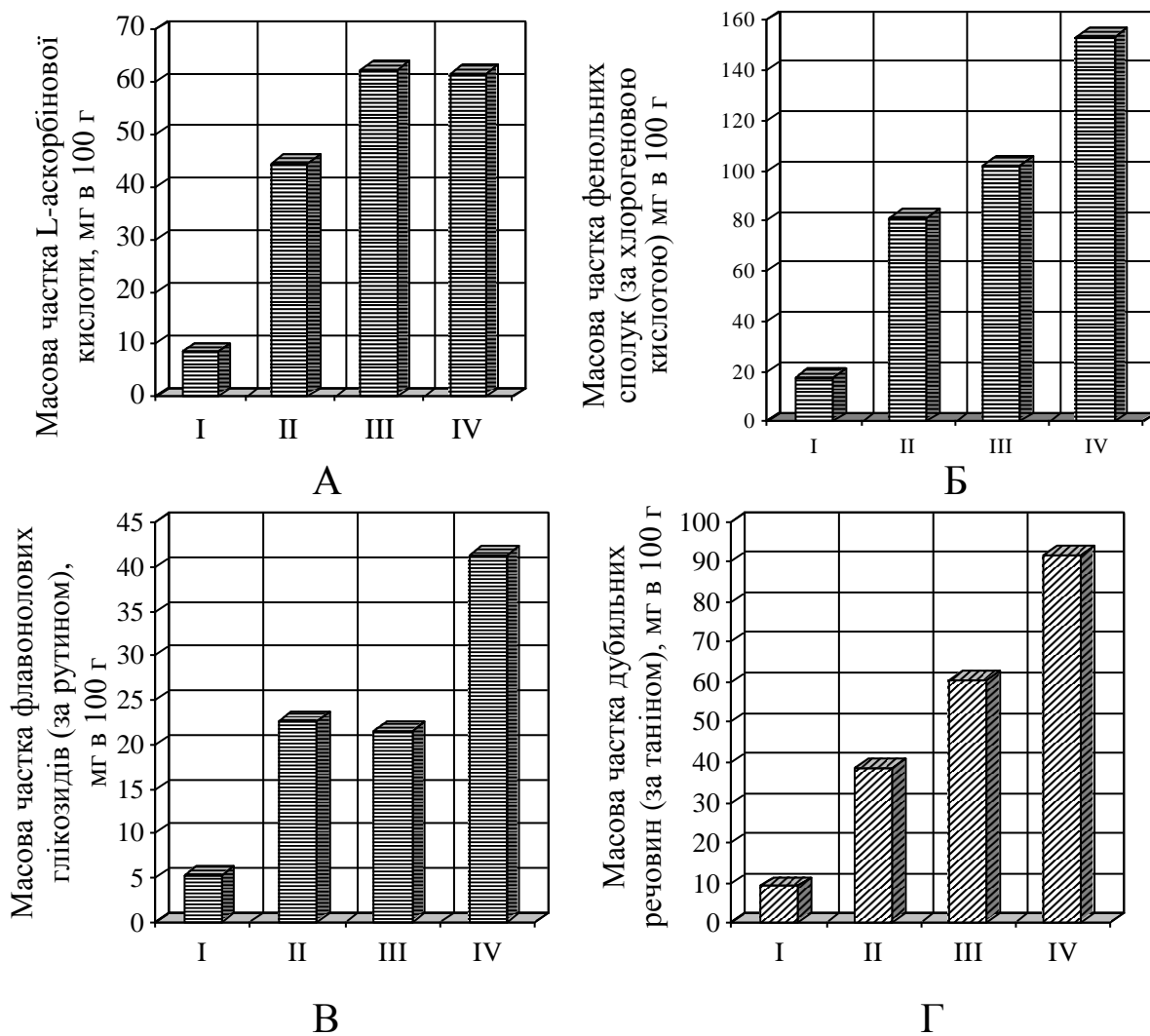


Рис. 9.7 - Вміст L-аскорбінової кислоти (А), фенольних сполук (за хлорогеновою кислотою) (Б), флавонолових глікозидів (за рутином) (В), дубильних речовин (за таніном) (Г) в нових видах морозива парфе в порівнянні з аналогом, де: 1-4 – морозиво парфе «Цитрусовий конфітур» (аналог) (1), «Мілк тропік» (2), «Мілкоранж» (3), «Мультимілк тропік» (4)

Вивчення органолептичних показників нових видів морозива парфе показало, що всі вони мають однорідну, рівномірно забарвлену заморожену структуру та консистенцію, рівномірний жовтувато-помаранчевий колір, кисло-солодкий смак та оригінальний аромат з



відтінком цитрусових, властивий добавкам-наповнювачам, без сторонніх присмаків та запахів.

Нове морозиво за вмістом БАР (аскорбіновою кислотою, фенольних сполук, дубильних речовин та ін.), потенційною імуномодуючою дією можна віднести до функціональних оздоровчих продуктів, спрямованих на зміцнення захисних сил організму людини.

Показано, що застосування гетерогенних дрібнодисперсних сумішей-міксів – збагачуючих натуральних рослинних добавок з фруктів (яблук, лимонів та апельсинів з цедрою, топінамбура, бананів) зменшує швидкість танення нових видів морозива парфе на 27...50% у порівнянні з контрольним зразком (морозиво парфе «Цитрусовий конфітюр»). Дослідження показали, що через 60 хв проведення дослідження контрольний зразок розтанув на 70%, а зразки морозива «Мілк тропік», «Мілкоранж», «Мультимілк тропік» за цей же проміжок часу розтанули всього на 36, 26 та 20% відповідно.

Також в задачу роботи входило оцінити якість морозива парфе, збагаченого гетерогенними дрібнодисперсними сумішами в формі сумішей-міксів натуральних рослинних добавок з фруктів (яблук, лимонів і апельсинів з цедрою, топінамбура, бананів) за ступенем збитості, об'ємною часткою повітря та опірністю танення. Результати дослідження структурно-механічних показників якості нових видів вітамінізованого морозива парфе в порівнянні з аналогом представлені в таблиці 9.4, рис. 9.8.

Таблиця 9.4

Структурно-механічні показники якості нових видів морозива парфе в порівнянні з аналогом (n = 3, P ≥ 0,95)

Найменування показника	Найменування плодово-ягідного морозива			
	«Цитрусовий конфітюр» (аналог)	«Мілк тропік»	«Мілк-оранж»	«Мультимілк тропік»
Збитість, %	96	100	105	110
Об'ємна частка повітря, частки од.	0,51	0,52	0,53	0,55
Опірність таненню, хв.	41,0	51,3	52,4	58,7

Показано, що в нових видах морозива парфе структурно-механічні показники якості були кращими в порівнянні з аналогом. Так, збитість морозива парфе, збагаченого гетерогенними дрібнодисперсними системами в формі пюре з яблук, лимонів і апельсинів з цедрою, топінамбура, бананів перевищує контрольний зразок на 4...15%.

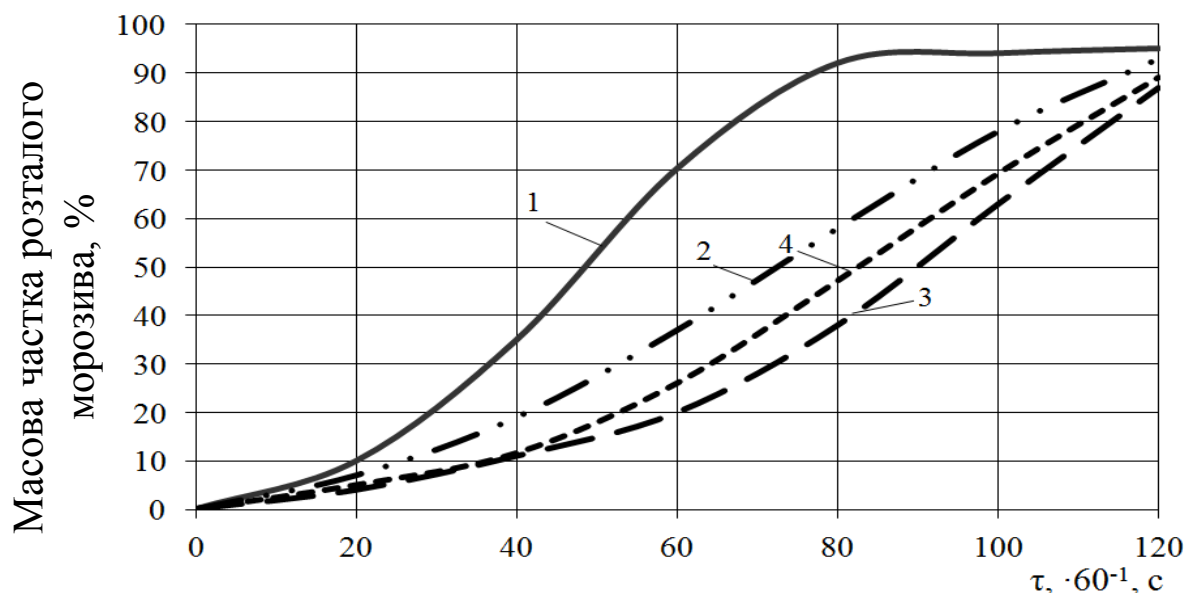


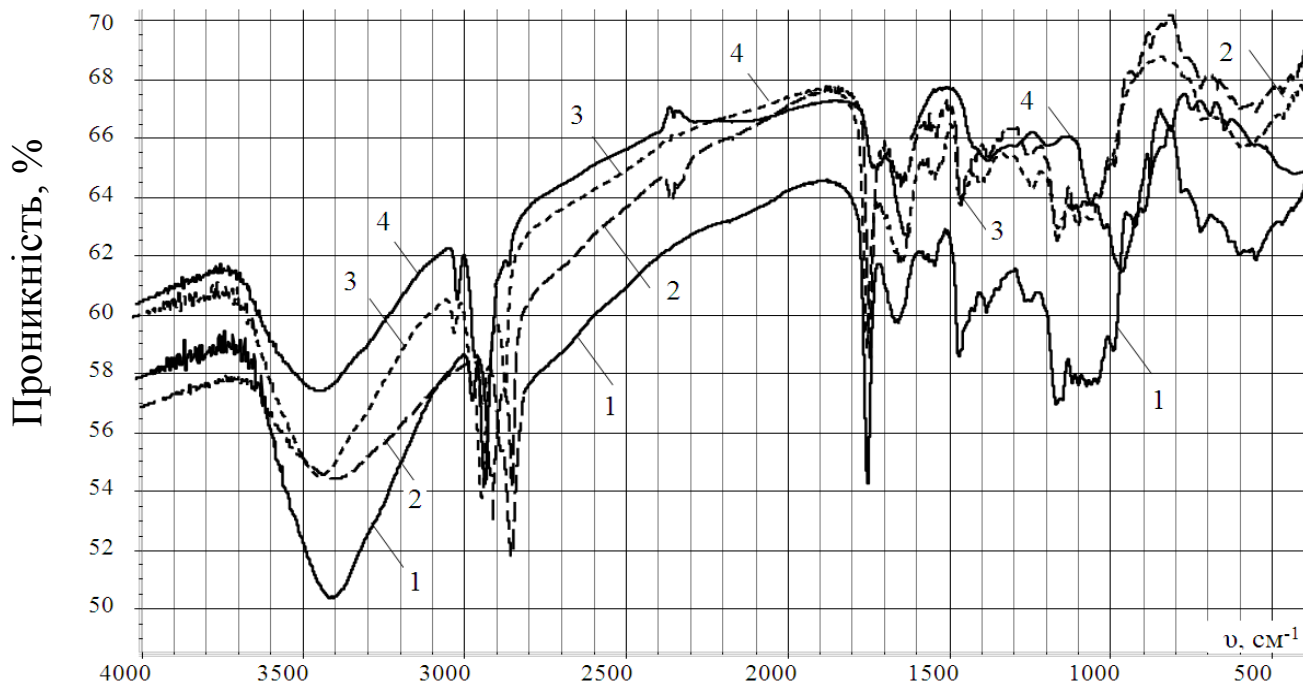
Рис. 9.8 - Вплив гетерогенних дрібнодисперсних систем на швидкість танення морозива парфе в порівнянні з аналогом, де 1 – морозиво парфе «Цитрусовий конфітур» (аналог), 2 – морозиво парфе «Мілк тропік», 3 – морозиво парфе «Мілкоранж», 4 – морозиво парфе «Мультимілк тропік»

Показано, що збитість нових видів морозива парфе становила 100...110%, в аналозі – 96%, тобто на 10...13% менше. Об'ємна частка повітря – 0,52...0,53 частки од., в аналозі 0,51. Опірність таненню в нових видах морозива становила 51,3...58,7 хв., в аналозі – 41,0 хв., що на 20...30% більше в порівнянні з контрольним зразком.

Показано, що найбільшу збитість суміші морозива парфе, збагачені гетерогенними дрібнодисперсними сумішами-міксами натуральних рослинних добавок із фруктів досягають через 7...9 хв. Морозиво парфе «Мілк тропік», «Мілкоранж», «Мультимілк тропік» мають кращі показники збитості в порівнянні з контрольним зразком – парфе «Ягідний конфітур» ТМ «CREDO» ВАТ «Петрохолод» (Росія). Так, збитість морозива «Мілк тропік» становить 100%, «Мілкоранж» – 105%, «Мультимілк тропік» – 110%, а «Цитрусового конфітура» – 96%.

Таким чином, під час дослідження структурно-механічних показників якості нових видів морозива парфе для оздоровчого харчування, виявлено стабілізуючу та структуроутворюючу дію гетерогенних дрібнодисперсних сумішей-міксів збагачуючих натуральних рослинних добавок, які одночасно є натуральними збагачувачами БАР, структуроутворювачами, барвниками та ароматизаторами, що корелює з текстурою морозива.

Інформація про якість нових видів парфе з використанням молочної сироватки та сумішей-міксів збагачуючих натуральних рослинних добавок у формі наноструктурованого пюре з фруктів в порівнянні з аналогом була доповнена використанням спектроскопічного аналізу (рис. 9.9).



Валентні коливання груп, $\text{cm}^{-1}$				
ОН	NH	CH	S-H	C=O
3645...2500	3500...3300	3350...2850	2600...2550	1750...1720
Валентні коливання груп, $\text{cm}^{-1}$				
C-O-	COOH	S=S	C=N	CH <sub>3</sub>
1300...1000	1750...1700	550...450	1230...1030	1470...1355

Рис. 9.9 - Порівняння ІЧ-спектрів нових видів морозива парфе, де 1 – морозиво парфе «Цитрусовий конфітур» (аналог), 2 – морозиво парфе «Мілк тропік», 3 – морозиво парфе «Мілкоранж», 4 – морозиво парфе «Мультимілк тропік»

При порівнянні ІЧ-спектрів нових видів морозива і парфе з використанням молочної сироватки та сумішей-міксів натуральних рослинних нанодобавок було показано, що в області частот от 3000 до 3600  $\text{cm}^{-1}$ , характерних для валентних коливань функціональних груп -ОН, що беруть участь в утворенні внутрішньомолекулярних і міжмолекулярних водневих зв'язків, і входять до складу вільної і зв'яза-

ної вологи, фенольних сполук, дубильних речовин, цукрів, біополімерів та ін., спостерігається збільшення інтенсивності спектрів і утворення додаткових водневих зв'язків. Крім того, відбувається міжмолекулярна перебудова та комплексоутворення асоціатів різних комплексів сполук – органічних кислот, білків, амінокислот, спиртів, кетонів та ін., за рахунок додавання заморожених дрібнодисперсних добавок у формі наноструктурованого пюре з фруктів з високим вмістом розчинних пектинових речовин, амінокислот тощо, що корелює з текстурою морозива і більш густою консистенцією продукта і його структурно-механічними властивостями (ступенем збитості, об'ємною часткою повітря, опірністю та швидкістю танення морозива).

Показано також, що в області частот  $\nu=2900\text{...}2000\text{ см}^{-1}$ , характерних для валентних коливань  $-\text{NH}_2$  і  $-\text{NH}$  груп, а також в області  $\nu=1700\text{...}1100\text{ см}^{-1}$  характерних для валентних коливань  $-\text{C}=\text{O}$  груп, спостерігається збільшення інтенсивності спектрів поглинання в нових видах морозива в порівнянні з аналогом, що свідчить про збільшення кількості ефірів, спиртів, ароматичних речовин терпеноїдної природи і  $\alpha$ -кислот, за рахунок внесення в продукт гетерогенної дрібнодисперсної системи – суміші заморожених дрібнодисперсних добавок у формі пюре з фруктів.

Таким чином, методом спектроскопії, виявлено стабілізуючу дію заморожених дрібнодисперсних добавок з фруктів та овочів, підвищену здатність до зв'язування вологи молочної сироватки шляхом утворення водневих зв'язків, а також комплексоутворення біополімерів білків молочної сироватки складової з біополімерами (пектинами, білками, целюлозою, дубильними речовинами) рослинних добавок та утворення їх асоціатів або комплексів колоїдів і стабільної структури морозива без додаткового застосування стабілізаторів структури.

Показано, що якість нових видів морозива парфе практично не змінюється протягом 12 місяців. Якість нових видів морозива парфе, збагачених замороженими дрібнодисперсними добавками з лимона і апельсина з цедрою, банана і яблук, топінамбура протягом 5-7 місяців практично не змінювалося.

Нові види морозива парфе «Мілк тропік», «Мілкоранж», «Мультимілк тропік» з використанням сироватки молочної та дрібнодисперсних заморожених добавок з фруктів пройшли апробацію у виробничих умовах і вироблені дослідні партії на підприємствах м. Харкова: АТЗТ «Хладопром», ПП НПФ «КРІАС Плюс».

## Список літератури до розділу 9

1. Strategy on Diet, Physical Activity and Health : report of a Joint WHO/FAO/UNU. Expert Consultation. Geneva : World Health Organization, 2010.
2. Pavlyuk, R., Pogarska, V., Kakadii, I., Pogarskiy, A., Stukonozhenko, T. Influence of the processes of steam-thermal cryogenic treatment and mechanolysis on biopolymers and biologically active substances in the course of obtaining health promoting nanoproducts // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 6/11 (90). P. 41–47.
3. Pogarska, V., Pavlyuk, R., Timofeyeva, N., Bilenko, L., Stukonozhenko, T. Exploring the processes of cryomechanodestruction and mechanochemistry when devising nano-technologies for the frozen carotenoid plant supplements // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016. Vol. 6/11 (84). P. 39–46.
4. Павлюк, Р. Ю., Погарський, О. С., Каплун О. А., Лосєва, С. М. Розробка криогенної технології заморожування хлорофілвмісних овочів // Східно-Європейський журнал передових технологій. 2015. – №6/10 (78). – С. 42–46.
5. В. А. Тутельян и соавт. Научные основы здорового питания. М.: Издательский дом «Панорама», 2010. 816 с.
6. Pavlyuk R. The effect of cryomechanodestruction on activation of heteropolysaccharide-protein nanocomplexes when developing nanotechnologies of plant supplements / R. Pavlyuk, V. Pogarska, K. Balabai, V. Pavlyuk, T. Kotuyk // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016. Vol. 4/11 (82). P. 20-28.
7. Pavlyuk R., Pogarska V., Yurieva O., Skripka I., Abramova T. Technology of healthful melted cheese products without melting salt with use freezing and non-enzymatic catalysis // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016. Vol. №5/11 (83). P. 51-61.
8. Pavlyuk, R., Pogarska, V., Cherevko, O., Pavlyuk, V., Radchenko, L., Dudnyk, E., Radchenko, A., Kolomiets, T. Studying the complex of biologically active substances in spicy vegetables and designing the nanotechnologies for cryosupplements and nanoproducts with health benefits // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. Vol. 4/11 (94). P. 6–14.
9. Стрингер, М. Охлажденные и замороженные продукты / М. Стрингер, К. Деннис; пер. с англ. СПб.: Профессия, 2004. 492 с.
10. Синха, Н. К. Настольная книга по переработке плодоовощной продукции / Н. К. Синха, И. Г. Хью; пер. с англ. СПб.: Профессия, 2014. 912 с., табл., ил. – (Серия: Научные основы и технологии) ISBN 978-5-904757-52-6
11. Павлюк Р. Ю., Погарська В. В., Маціпура Т. С., Максимова Н. П. Розробка нанотехнології дрібнодисперсного замороженого пюре із грибів шапіньонів (*Agaricus Bisporus*) // Восточно-Європейський журнал передових технологій. 2015. №6/10 (78). С 24-28. doi: 10.15587/1729-4061.2015.56145
12. Robert T. Marshall. Ice Cream / Robert T. Marshall, H. Douglas Goff, Richard W Hartel., 2012. – 371 с.
13. Chris Clarke. The Science of the Ice Cream / Chris Clarke., 2015. – 183 с.

14. Fructan stability in strawberry sorbets in dependence on their source and the period of storage / Kinga Topolska, Agnieszka Filipiak-Florkiewicz, Adam Florkiewicz, Ewa Cieslik. // *European Food Research and Technology*. – 2017. - №243. – С. 701-709.
15. Filiz Yangilar. Effects of Green Banana Flour on the Physical, Chemical and Sensory Properties of Ice Cream / Filiz Yangilar. // *Food Technol. Biotechnol.* – 2015. №53. – С. 315-323.
16. Daiana de Souza Fernandes. Cassava derivatives in ice cream formulations: effects on physicochemical, physical and sensory properties / Daiana de Souza Fernandes, Magali Leonel, Marilia Sbragia Del Bem. // *J Food Sci Technol.* – 2017. - №54. – С. 1357-1367.
17. The production of ice cream using stevia as a sweetener / C. Ozdemir, A. Arslaner, S. Ozdemir, M. Allahyari. // *Journal of Food Science and Technology*. – 2015. - №52. – С. 545-548.
18. Rajpreet Kaur Goraya. Enhancing the functional properties and nutritional quality of the ice cream with processed amla (Indian gooseberry) / Rajpreet Kaur Goraya, Usha Bajwa. // *J Food Sci Technol.* – 2015. - №52. – С. 7861-7871.
19. Оленев, Ю.А. Мороженое / Ю.А. Оленев – М. : Колос, 1992. – 256 с.
20. Кладий, А.Г. Производство мороженого и вафельных изделий / А.Г. Кладий, В.А. Выгодин. – М. : Галактика – ИГМ, 1993. – 317 с.
21. Кладий, А.Г. Мороженое – исторический обзор и классификация / Кладий А. Г. – М. : Росмясоторг, 1991. – 45 с.
22. Павлюк, Р.Ю. Новий напрямок глибокої переробки харчової сировини: монографія / Р.Ю. Павлюк, В.В. Погарська, Л.О. Радченко, В.А. Павлюк та ін. – Х.: Факт, 2017. – 380 с.
23. Павлюк, Р.Ю. Інноваційні технології вітамінного плодовогогідного морозива з використанням заморожених дрібнодисперсних добавок з рослинної сировини / Р.Ю. Павлюк, В.В. Погарська, А.А. Берестова // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2013. – №4/10 (64). – С. 57-62.
24. Павлюк, Р.Ю. Розробка функціонального оздоровчого морозива з використанням наноструктурованих криопаст із плодоовочевої сировини з рекордним вмістом БАР [Електронний ресурс] / Р.Ю. Павлюк, В.В. Погарська, Т.В. Крячко, А.А. Берестова, Д.О. Глибокий, Н.П. Максимова // *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*. – 2009. – Вип. 2. – С. 41-48.
25. FAO/WHO. Питание 21 Век. Глобальные проблемы. Международная конференция по питанию – Рим, 1992. – С. 3.
26. FAO/WHO. Меры политики по обеспечению продовольственной безопасности в регионе: проблемы и перспективы – продовольственный прогноз до 2050 года / Двадцать восьмая региональная конференция ФАО для Европы. – Баку, 2012. – 25 с.

## ***РОЗДІЛ 10. ПРЕЗЕНТАЦІЯ РОЗРОБЛЕНОЇ АВТОРАМИ ХАРЧОВОЇ ПРОДУКЦІЇ ДЛЯ ЗДОРОВОГО ХАРЧУВАННЯ НА МІЖНАРОДНИХ КУЛІНАРНИХ ФЕСТИВАЛЯХ В УКРАЇНІ, ТУРЕЧЧИНІ, ХОРВАТІЇ, СЛОВЕНІЇ, ПОЛЬЩІ ТА ІНШИХ***

В межах наукової школи розроблений авторами асортимент рослинних дрібнодисперсних добавок та оздоровчих продуктів з їх використанням, які отримано за нанотехнологіями, знайшли своє впровадження на підприємствах України, Росії, Латвії. З використанням отриманих нанодобавок в формі заморожених паст та порошків із плодів, овочів, натуральних прянощів та лікарської рослинної сировини розроблено широкий асортимент страв для оздоровчого харчування, що рекомендовані до впровадження як на великих харчових виробництвах, так і на підприємствах ресторанного бізнесу. Презентація розроблених натуральних супер-продуктів, добавок та страв оздоровчої дії з їх застосуванням, а також монографій, присвячених методу глибокої переробки сировини та нанотехнологіям виготовлення «NatureSuperFood» для здорового харчування, отримали визнання міжнародної спільноти понад 30 країн світу під час участі в Міжнародних кулінарних фестивалях України, Туреччини, Хорватії, Словенії, Польщі та ін.

За результатами участі в «Art-class» отримано 30 золотих медалей та 3 срібні.

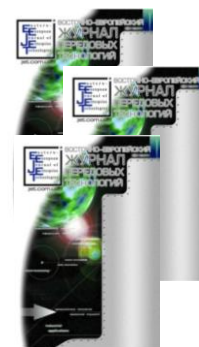
В розробці рецептур та технологій добавок, продуктів та страв оздоровчої дії для підприємств харчового бізнесу приймали участь всі фахівці наукової школи кафедри, аспіранти, пошукувачі та студенти випускової кафедри харчових технологій продуктів із плодів, овочів і молока та інновацій в оздоровчому харчуванні під час виконання дисертаційних робіт, бакалаврських та магістерських проектів та робіт за спеціальністю 181 «Харчові технології» за освітньо-професійною програмою «Харчові технології продуктів з рослинної сировини та молока для підприємств харчового бізнесу».



За результатами отриманих робіт фахівцями, аспірантами та студентами кафедри в межах наукової школи за останні десять років надруковано понад 1000 робіт, серед них: 15 монографій, 10 навчальних посібників, понад 650 статей, серед яких 20 статей у виданнях, що входять до міжнародної наукометричної бази даних Scopus, 50 статей у періодичних фахових виданнях України харчового профілю, у міжнародних виданнях Словаччини, Польщі, Естонії, Росії, Казахстану та ін.



Про рівень наукових розробок, що виконуються на кафедрі, свідчить кількість публікацій фахівців кафедри за останні 5 років в виданнях, що входять до б.д. Scopus. За даними редакції журналу «ВЕЖПТ» (входить до б.д. Scopus), керівник наукової школи проф. Павлюк Р.Ю., за останні 5 років має серед науковців України харчового профілю найвищу кількість публікацій в Scopus (15 статей). На 1 публікацію менше в б.д. Scopus має випускник наукової школи, послідовник та співавтор проф. Павлюк Р.Ю. – завідувач кафедри проф. Погарська В.В.

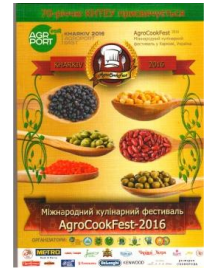


Слід зазначити, що всі фахівці наукової школи кафедри мають за останні 5 років від 3 до 5 публікацій в б.д. Scopus. До вагомих досягнень науковців кафедри є запрошення та включення з грудня 2018 року проф. Павлюк Р.Ю. в редакційну колегію журналу «ВЕЖПТ» за напрямом «Технології та обладнання харчових виробництв», який входить в наукометричну базу Scopus.

Протягом останніх 5-ти років отримано визнання представлених розробок наукової школи (монографій та зразків продуктів, добавок, страв) на міжнародному рівні. Розроблені добавки та продукти оздоровчої дії з їх використанням, а також надруковані монографії наукової школи проф. Павлюк Р.Ю. з результатами фундаментальних та прикладних досліджень отриманих при розробці нанотехнологій нових добавок, оздоровчих продуктів та страв були відзначені міжнародною спільнотою біля 30 країн світу під час участі на Міжнародних кулінарних конкурсах в Україні, Європі, Азії, де отримано біля 25 золотих та срібних медалей під час участі в «Art-class» та проведення майстер-класів, а саме отримано:

- **3 золоті медалі** IV Міжнародного форуму. Міжнародний Кулінарний Фестиваль у Харкові, Україна. «AgroCookFest-2016. Світові тенденції та національні пріоритети» (м. Харків, Україна, 20-22 жовтня 2016 р.) за представлені нанокріопаста та наносорбети із яблука, абрикосів, гарбуза;





- **золоту медаль** та грамоту Сербської асоціації кухарів за внесок в світову харчову індустрію та відкриття унікальних методів глибокої переробки харчової рослинної сировини (Сербія, травень 2017 р.);

- **золоту медаль** та грамоту Міжнародного кулінарного фестивалю за презентовані монографії наукової школи присвячені оздоровчому харчуванню (м. Кранська гора, Словенія, травень 2017 р.);

- **золоту медаль** та грамоту XII Міжнародного кулінарного фестивалю «BISER MORA» («Перлина моря», м. Супетар, о. Брач, Хорватія, 6-9.04.2017 р.);

- Сертифікат 3-го Міжнародного кулінарного чемпіонату у співдружності з всесвітньою професійною асоціацією кухарів в знак визнання безцінного вкладу та професійної наукової підтримки здорового харчування (м. Болу, Туреччина, 28-30 квітня 2017 р.);



- **5 медалей** Міжнародного конкурсу кулінарів «Kazan Fire Fest – 2017» (м. Харків, Україна, 14-15 жовтня 2017 р.) за результатами участі в Арт-класі «Нове покоління оздоровчих продуктів» та Майстер-класу з молекулярної кулінарії:



- золотої медалі за інновації науковців Харківщини в використанні каротинвмісної сировини (гарбуза) для отримання нового покоління оздоровчих продуктів;
- золотої медалі за нестандартність рішення при отриманні каротиноїдних оздоровчих нанопоїв та молочно-рослинних коктейлів XXI століття;



- срібної медалі за сонячні каротиноїдні булочки «Сан Ролл» та каротиноїдний хліб для здорового харчування харків'ян та гостей міста;
- срібної медалі за розробку та надання страві східної кухні «Хумус» українського колориту та оздоровчого спрямування;



- золотої медалі за Майстер-клас з молекулярної кулінарії по виготовленню натуральних наносорбетів з плодів та овочів для здорового харчування;
- **4 золотих медалей** Міжнародного кулінарного фестивалю «Оттоманська кухня-2018» (м. Харків, Україна, 13-14 травня 2018 р.) за результатами участі в Арт-класі «Оздоровчі продукти XXI століття» та Майстер-класу з молекулярної кулінарії:
- за інновації науковців Харківщини в використанні хлорофіл-місної сировини (шпинату) для отримання оздоровчих продуктів XXI століття;



- за креативність рішення при отриманні зеленої лінійки натуральних нанопоїв «Green Drink», «Green Tonique» із плодоовочевої сировини та за натуральні желейні плодоовочеві десерти «ITropic», «Natural Satisfaction» для оздоровчого харчування населення;



- за розробку нового покоління хлібобулочних та кондитерських виробів із застосуванням органічного борошна та натуральних плодоовочевих добавок для оздоровлення населення;
- за Майстер-клас з молекулярної кулінарії по виготовленню натурального плодоовочевого наноморозива для оздоровлення населення;



- **золоту медаль** XIII Міжнародного кулінарного фестивалю «BISER MORE» у співдружності з асоціацією шеф-кухарів Середземноморського та Європейського регіонів м. Супетар, о. Брач, Хорватія, 21-23 березня 2018 р.) за внесок у розвиток здорового харчування і створення нового покоління харчових продуктів для зміцнення здоров'я населення Європи та Азії, які презентовані в монографіях;

- **3 золоті медалі** Міжнародного кулінарного чемпіонату у співдружності з всесвітньою професійною асоціацією шеф-кухарів (м. Болу, Туреччина, 4-5 травня 2018 р.) за результатами проведеної презентації міжнародній спільноті 3-х монографій наукової школи кафедри отримано фахівцями кафедри:



- **Павлюк Р.Ю.** – в знак визнання її безцінного вкладу та відкриття нового напрямку глибокої переробки харчової сировини та дослідження їх прихованих резервів; за інновації в молекулярній кулінарії для здорового харчування;

- **Погарська В.В.** – за відкриття нового покоління оздоровчих продуктів;

- **золотої медалі** Альянсу кулінарів середземноморських та європейських регіонів Міжнародного кулінарного фестивалю BISER MORA за внесок в розвиток гастрономії в галузі оздоровчого харчування, консервування та кулінарії (Хорватія, березень 2015 р.);

- балканського **кулінарного кубку**, а також грамоти Кулінарної федерації Сербії III Балканського кулінарного фестивалю за внесок в розвиток міжнародної кулінарії та оздоровчого харчування (Белград, жовтень 2014 р.).



- **3 золоті медалі** Міжнародного кулінарного фестивалю ресторанних технологій «BestCookFest – Rodillia 2019» (м. Кам'янець-Подільський Хмельницької обл., Україна, 28 лютого 2019 – 02 березня 2019 р.) за участь та перемогу в арт – класі «Нанотехнології оздоровчих продуктів майбутнього»:

- Нове слово в кулінарії: інновації при виготовленні наноїжі із грибів та бобових для здорового харчування (автори: Павлюк Р.Ю., Погарська В.В., Пономаренко Т.С., Котюк Т.В., Максимова Н.П.);

- Нове слово в кулінарії: інновації при виготовленні наноїжі із каротинвмісної рослинної сировини та хлорофілвмісних овочів для здорового харчування (автори: Погарська В.В., Павлюк Р.Ю., Погарський О.С., Стуконоженко Т.А., Лосева С.М.);

- Нове слово в кулінарії: інновації при виготовленні наноїжі із пряних овочів та інуліновмісної сировини для здорового харчування (автори: Павлюк Р.Ю., Погарська В.В., Балабай К.С., Дудник К.В., Лосева С.М.).

- **2 золоті медалі** XIV Міжнародного кулінарного фестивалю «BISER MORE» у співдружності з асоціацією шеф-кухарів Середземноморського та Європейського регіонів (м. Супетар, о. Брач, Хорватія, 9 квітня 2019 р.) за внесок у розвиток здорового харчування і створення нового покоління харчових продуктів для зміцнення здоров'я населення Європи та Азії, які презентовані в монографіях.

- **1 золоту медаль** Міжнародного кулінарного чемпіонату у співдружності з всесвітньою професійною асоціацією шеф-кухарів (м. Болу, Туреччина, 15-17 березня 2019 р.) за презентацію міжнародній спільноті 3-х монографій наукової школи кафедри: «Енциклопедія харчування. т. 5 Біологічно активні добавки», «Новий напрямок глибокої переробки харчової сировини», «Кріо- і механохімія в харчових технологіях», присвячених розробці технологій нового покоління продуктів для оздоровчого харчування із застосуванням запропонованих в межах наукової школи кафедри та заснованих на процесах механоактивації, кріо-, термо- та механодеструкції способів глибокої переробки харчової сировини, що

дають можливість вилучити та зберегти при переробці в готовий продукт приховані форми БАР свіжої сировини.

Слід відзначити, що ініціатором поєднання інтересів науковців Харківщини з інтересами кулінарів світу є директор Харківського торговельно-економічного коледжу КНТЕУ проф. Радченко Л.О., що є менеджером в галузі ресторанного бізнесу міжнародного рівня. Основним завданням, яке необхідно вирішити науковцям для рестораторів – обґрунтувати доцільність застосування сучасного передового обладнання, що широко використовується кулінарами світу для паротермічної обробки, кріогенного заморожування, дрібнодисперсного та низькотемпературного подрібнення з точки зору можливості отримання на ньому в закладах ресторанного господарства і торгівлі нового покоління продуктів, добавок та страв для здорового харчування.



Для вирішення поставленого завдання протягом останніх 5-ти років проф. Радченко Л.О. займається популяризацією отриманих результатів наукових досліджень на міжнародному рівні шляхом презентації кулінарам світу спільних з науковцями Харківщини – фахівцями наукової школи ХДУХТ монографій. Крім того, науковці отримують запрошення для участі в «Art-class» Міжнародних кулінарних конкурсах, фестивалях, що проходять в Україні, де приготування харчових продуктів, добавок, страв проводиться із застосування різних видів сучасного обладнання, а експертну оцінку проводять видатні шеф-кухарі, судді міжнародного рівня, до числа яких належить віце-президент громадської спілки «Український кулінарний союз», директор ХТЕК КНТЕУ проф. Радченко Л.О.

## **ДОДАТОК. КЕРІВНИКИ НАУКОВОЇ ШКОЛИ КАФЕДРИ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРОДУКТІВ З ПЛОДІВ, ОВОЧІВ І МОЛОКА ТА ІННОВАЦІЙ В ОЗДОРОВЧОМУ ХАРЧУВАННІ ХДУХТ**



### **Раїса Павлюк (Raisa Pavlyuk)**

Доктор технічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України, лауреат Державної премії України, академік міжнародної академії холоду, засновник кафедри харчових технологій продуктів із плодів, овочів і молока та інновацій в оздоровчому харчуванні Харківського державного університету харчування та торгівлі. Визнана науковою спільнотою СРСР та України засновником напрямку глибокої переробки різних видів харчової сировини – нанотехнологій, в тому числі криогенних, та обладнання – для отримання перших вітчизняних натуральних рослинних добавок (порошків, паст) в нанорозмірній легкозасвоюваній формі та функціональних оздоровчих продуктів з принципово новими споживчими властивостями, яких неможливо досягти, використовуючи традиційні методи. Розроблені добавки та продукти не мають аналогів в світі. Напрямок заснований на комплексній дії на сировину заморожування (або паротермічної обробки) та дрібнодисперсного подрібнення, що супроводжуються процесами неферментативного біокаталізу (кріо-, механодеструкції, механоактивації, механохімії). Застосування запропонованого напрямку дозволило вперше в світовій практиці зробити відкриття та встановити існування в свіжій сировині прихованих зв'язаних форм біологічно активних речовин (БАР) та біополімерів та запропонувати спосіб їх вилучення у вільну форму. Порівняно зі свіжою сировиною застосування методу глибокої переробки при отриманні добавок та продуктів призводить до збільшення масової частки БАР в 2,5...5 разів. Це дає можливість не тільки повністю зберегти біологічний потенціал продукту, а також більш повно його розкрити та збільшити КПД використання сировини за вмістом БАР. В межах напрямку є засновником наукової школи з фундаментальних та прикладних досліджень. Під керівництвом проф. Павлюк Р.Ю. захищено 20 кандидатських та 2 докторські дисертації, розроблено понад 85 технологій, значна частина з яких та обладнання для їх забезпечення впроваджені на підприємствах України, Росії, Латвії. З використанням отриманих добавок в формі порошків та паст розроблено широкий асортимент страв для оздоровчого харчування, що рекомендовані до впровадження на підприємствах ресторанного бізнесу. Розроблені в межах наукової школи продукти, добавки та страви оздоровчої дії з їх застосуванням, а також монографії присвячені методу глибокої переробки отримали визнання міжнародної спільноти понад 30 країн світу під час участі в Міжнародних Кулінарних фестивалях України, Туреччини, Хорватії та ін. За результатами участі в «Art-class» отримано 30 золотих медалей.





Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Scientist and Engineer of Ukraine, laureate of the State Prize of Ukraine, academician of the International Academy of Colds, founder of the Department of Food Technology of Products from Fruits, Vegetables and Milk and Innovations in Healthful Nutrition at the Kharkov State University of Food Technology and Trade. Raisa Pavlyuk is recognized by the scientific community of the Ukrainian Soviet Socialist Republic (USSR) and Ukraine as the founder of the direction of deep processing of various types of food raw materials – nanotechnologies, including cryogenic ones, and equipment – for obtaining the first domestic natural plant additives (powders, pastes) in nanosized easy-digestible form and functional health-improving products with fundamentally new consumer properties, which can not be obtained using traditional methods. The developed additives and products have no analogues in the world. The direction is based on the complex action of freezing (or steam-thermal treatment) and fine-dispersed grinding on raw materials. The mentioned processes are accompanied by non-enzymatic biocatalysis (cryomechanodestruction, mechanoactivation, mechanochemistry). The application of the proposed direction made it possible for the first time in the world practice to discover and determine the existence of hidden forms of biologically active substances (BAS) and biopolymers in fresh raw materials and to suggest a method of their extraction to a free form. The use of the method of deep processing in obtaining additives and products allows increasing the mass fraction of BAS 2,5...5 times more in comparison with fresh raw materials. It makes possible not only to preserve the biological potential of the product completely, but also to reveal it more fully and increase the efficiency of the use the BAS-reserve in the raw materials. Raisa Pavlyuk is the founder of a scientific school of fundamental and applied researches within the boundaries of the direction. 20 candidate's and 2 doctoral dissertations have been defended, more than 85 technologies have been developed under the guidance of professor Pavlyuk. A significant part of technologies and equipment for their realization have been implemented at enterprises of Ukraine, Russia and Latvia. A wide range of dishes for health-improving food with the use of the received additives in the form of powders and pastes is recommended for introduction at enterprises of restaurant business. The developed within the scientific school products, additives and health-improving dishes with their application, as well as monographs, are devoted to the method of deep processing. They received the recognition of the international community in more than 30 countries of the world during their participation in the International Culinary Festivals of Ukraine, Turkey, Croatia, etc. According to the results of the participation in the "Art-class" it has been received 30 gold medals.



## Вікторія Погарська (Victoria Pogarskaya)

Доктор технічних наук, професор, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, член-кореспондент міжнародної академії холоду, завідувач кафедри харчових технологій продуктів з плодів, овочів і молока та інновацій в оздоровчому харчуванні Харківського державного університету харчування та торгівлі, випускник та послідовник наукової школи з фундаментальних та прикладних досліджень напрямку глибокої переробки різних видів харчової сировини, засновника кафедри, д.т.н., проф., заслуженого діяча науки і техніки України, лауреата Державної премії України Павлюк Р.Ю. Проф. Погарська В.В. є висококваліфікованим фахівцем в галузі харчових технологій продуктів з рослинної сировини та молока, діяльність якої в межах наукової школи присвячена пошуку технологічних прийомів, що дозволяють максимально розкрити закладений у свіжій (вихідній) сировині біологічний потенціал з метою розробки технологій нового покоління добавок, продуктів та страв, що сприяють зміцненню імунітету. Серед особливих досягнень – розробка альтернативного криогенному способу методу глибокої переробки каротинвміщуючої рослинної сировини в нанодобавки в формі порошків та паст із застосуванням комплексного впливу паротермічної обробки та дрібнодисперсного подрібнення з використанням сучасного обладнання, що дало можливість вперше в міжнародній практиці трансформувати  $\beta$ -каротин в гідрофільну легкозасвоювану форму, вилучити із сировини приховані форми каротиноїдів та отримати нанодобавки, масова частка каротиноїдів в яких в 3...4 рази більша, ніж в свіжій сировині. Результатом проведених проф. Погарської В.В. науково-дослідних робіт є розробка понад 50 технологій оздоровчих продуктів та добавок в формі порошків, паст, екстрактів, заморожених продуктів, пюре, значна частина яких впроваджені на підприємствах України, Росії, Латвії, розробка з використанням отриманих добавок широкого асортименту страв оздоровчої дії для підприємств ресторанного бізнесу. Під керівництвом проф. Погарської В.В. захищено 5 та готуються до захисту ще 5 кандидатських дисертацій. Протягом останніх 5-ти років розроблені продукти, добавки та страви оздоровчої дії, а також надруковані монографії з отриманими результатами фундаментальних та прикладних досліджень приймали участь в Міжнародних кулінарних фестивалях, що проходили в Україні, Словаччині, Туреччині та ін. країнах, і отримали визнання міжнародних фахівців (30 золотих медалей та сертифікатів).







Doctor of Technical Sciences, Professor, laureate of the State Prize of Ukraine in the field of science and technology, corresponding member of the International Academy of colds, head of the Department of Food Technology of Products from Fruits, Vegetables and Milk and Innovations in Healthful Nutrition at the Kharkov State University of Food Technology and Trade. Victoria Pogarskaya is graduate and follower of the School of sciences in Basic and Applied Researches on the direction of deep processing of various types of food raw materials, follower of founder of the department, Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Scientist and Engineer of Ukraine, laureate of the State Prize of Ukraine – Raisa Pavlyuk. Professor Pogarska is a highly qualified specialist in the field of food technologies of products based on plant and milk raw materials. Her activity is devoted to the search of technological techniques that allow to reveal most completely the biological potential of fresh (start) raw materials within the boundaries of a scientific school. The aim of functioning of school is development of technologies for a new generation of additives, products and dishes, which contribute to the strengthening of immunity. Among the special achievements is the development of an alternative cryogenic method of the deep processing of carotin-containing plant raw materials into nano-additives in the form of powders and pastes using the complex influence of steam-thermal treatment and fine-dispersed grinding with the use of modern equipment, which made it possible for the first time in international practice to transform  $\beta$ -carotene into a hydrophilic easily-digestible form, to remove the hidden forms of carotenoids from the raw materials and to receive nanoadditives, a mass fraction of carotenoids in which 3...4 times higher than in fresh raw materials. The result of research work of professor Pogarskaya is the development of more than 50 technologies of health-improving products and additives in the form of powders, pastes, extracts, frozen products, puree. A significant part of them is implemented at enterprises of Ukraine, Russia and Latvia. It is also developed a wide range of health-improving dishes with the use of the received additives for enterprises of restaurant business. 5 candidate's dissertations have been defended under the guidance of professor Pogarskaya and another 5 candidate's dissertations are preparing to defend. During the last 5 years, the products, additives and health-improving dishes have been developed. The monographs with the results of fundamental and applied researches have been printed while this period and took part in the International culinary festivals in Ukraine, Slovakia, Turkey and other countries. They have been recognized by international experts (30 gold medals and certificates were received).

## АВТОРИ КОЛЕКТИВНОЇ МОНОГРАФІЇ

**Павлюк Р.Ю.**, докт. техн. наук, проф., заслужений діяч науки і техніки України, лауреат Держпремії України в галузі науки і техніки, Харківський державний університет харчування та торгівлі (ХДУХТ); **Погарська В.В.**, докт. техн. наук, проф., лауреат Держпремії України в галузі науки і техніки, ХДУХТ; **Бессараб О.С.**, канд. техн. наук, проф., заслужений працівник освіти України, Національний університет харчових технологій; **Балабай К.С.**, канд. техн. наук, доц., ХДУХТ; **Погарський О.С.**, канд. техн. наук, доц., ХДУХТ; **Абрамова Т.С.**, зав. відділенням, Харківський фаховий коледж харчової промисловості Харківського Національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка; **Юр'єва О.О.**, канд. техн. наук, доц., ХДУХТ; **Кравчук Т.В.**, канд. техн. наук, доц., Одеська національна академія харчових технологій; **Лосєва С.М.**, доц., ХДУХТ

## AUTHORS OF THE JOINT MONOGRAPH

***R.Yu. Pavlyuk***, doctor of Technical Sciences, Honoured Master of Sciences and Engineering in Ukraine, Laureate of the State Prize of Ukraine in Science and Engineering, Kharkiv State University of Food Technology and Trade (KhSUFTT); ***V.V. Pogarskaya***, doctor of Technical Sciences, professor, Laureate of the State Prize of Ukraine in Science and Engineering, KhSUFTT; ***A.S. Bessarab***, Candidate of Technical Sciences, professor, Honored Worker of Education in Ukraine, National University of Food Technologies; ***K.S. Balabai***, Candidate of Technical Sciences, assistant professor, KhSUFTT; ***A.S. Pogarskiy***, Candidate of Technical Sciences, assistant professor, KhSUFTT; ***T.S. Abramova***, head of the department, Kharkiv Professional College of Food Industry of Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Petro Vasilenko; ***O.O. Yurieva***, Candidate of Technical Sciences, assistant professor, KhSUFTT; ***T.V. Kravchuk***, Candidate of Technical Sciences, assistant professor, Odessa National Academy of Food Technologies; ***S.M. Loseva***, assistant professor, KhSUFTT

## ЗМІСТ

Вступ.....	5
INTRODUCTION.....	20
РОЗДІЛ 1. НОВИЙ НАПРЯМОК ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ГЛИБОКОЇ ПЕРЕРОБКИ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ: ЗАСТОСУВАННЯ ПРОЦЕСІВ КРІОМЕХАНОДЕСТРУКЦІЇ ТА КРІОМЕХАНОХІМІЇ.....	35
1.1 Аналіз асортименту продуктів та добавок з високим вмістом пребіотиків із бульб топінамбуру.....	36
1.2 Загальна характеристика, особливості хімічного складу та лікувально-профілактичні властивості топінамбура – сировини для отримання кріозаморожених та порошкоподібних дрібнодисперсних добавок.....	40
1.3 Характеристика пребіотичних речовин топінамбура, біологічно активних фітокомпонентів та лікувально-профілактичні властивості.....	44
1.3.1 Характеристика пребіотичних речовин топінамбура.....	44
1.3.2 Характеристика біологічно активних фітокомпонентів топінамбура, їх фізіологічні властивості та лікувально-профілактична дія.....	53
1.4 Традиційні технології виробництва пребіотиків та харчових продуктів із бульб топінамбура.....	55
1.5 Заморожування та низькотемпературне подрібнення при переробці рослинної сировини.....	57
1.6 Новий напрямок в переробці харчової сировини – кріогенне «шокове» заморожування та дрібнодисперсне подрібнення плодів та овочів з використанням рідкого та газоподібного азоту.....	60
1.7 Нанотехнології в харчовій промисловості.....	67
Висновки до розділу 1.....	71
Список використаної літератури до розділу 1.....	72
РОЗДІЛ 2. НОВИЙ СПОСІБ КРІОГЕННОЇ ОБРОБКИ ТОПІНАМБУРА ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ КІЛЬКОСТІ МІКРООРГАНІЗМІВ ПРИ «ШОКОВОМУ» ЗАМОРОЖУВАННІ.....	83
Список літератури до розділу 2.....	91
РОЗДІЛ 3. КРІОМЕХАНОДЕСТРУКЦІЯ ТА КРІОМЕХАНОХІМІЯ БІОПОЛІМЕРІВ ІНУЛІНУ, ПЕКТИНОВИХ РЕЧОВИН, БІЛКУ ТОПІНАМБУРА ТА РОЗРОБКА НАНОТЕХНОЛОГІЙ ОЗДОРОВЧИХ ДОБАВОК.....	92

3.1 Вивчення комплексу пребіотичних речовин та біологічно активних фітокомпонентів бульб топінамбура – сировини для отримання заморожених та порошкоподібних дрібнодисперсних добавок.....	99
3.2 Вивчення впливу способу заморожування (традиційного, кріогенного «шокового») та дрібнодисперсного подрібнення на активність окиснювальних ферментів під час переробки топінамбура.....	100
3.3 Вивчення впливу процесів кріомеханодеструкції при кріогенному «шоковому» заморожуванні та дрібнодисперсному подрібненні на деструкцію біополімерів інуліну, целюлози та пектинових речовин топінамбура.....	104
3.4 Вплив кріомеханодеструкції під час кріогенного «шокового» заморожування та дрібнодисперсного подрібнення на конформаційні зміни молекул білка при отриманні дрібнодисперсних добавок із топінамбура.....	108
3.5 Вивчення впливу процесів кріомеханодеструкції та кріомеханохімії на збереження та трансформацію низькомолекулярних біологічно активних фітокомпонентів топінамбура.....	114
3.6 Спектроскопічні дослідження впливу процесів кріомеханодеструкції на пребіотичні речовини та БАР топінамбура при роботі нанотехнології дрібнодисперсних кріодобавок.....	117
3.7 Вивчення засвоюваності дрібнодисперсних кріодобавок із топінамбура методом біотестування з використанням живих культур інфузорій <i>Paramecium caudatum</i> .....	119
3.8 Розробка кріогенної нанотехнології кріозаморожених та порошкоподібних дрібнодисперсних добавок із топінамбура та вивчення в них вмісту БАР та пребіотиків.....	121
3.9 Вивчення якості заморожених та порошкоподібних дрібнодисперсних добавок із топінамбура, отриманих за кріотехнологією...	124
Висновки до розділу 3.....	129
Список літератури до розділу 3.....	131
<b>РОЗДІЛ 4. НАНОТЕХНОЛОГІЇ ОЗДОРОВЧИХ ПРОДУКТІВ – СИРКОВИХ ДЕСЕРТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ КРІОДОБАВОК ІЗ ПЛОДІВ, ОВОЧІВ ТА ТОПІНАМБУРА.....</b>	<b>134</b>
Висновки до розділу 4.....	154
Список літератури до розділу 4.....	155
<b>РОЗДІЛ 5. ТЕХНОЛОГІЇ ОЗДОРОВЧИХ ПРОДУКТІВ – БІОЙОГУРТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ КРІОДОБАВОК ІЗ ТОПІНАМБУРА ТА КАРОТИНОВІСНИХ І ЦИТРУСОВИХ ПЛОДІВ.....</b>	<b>158</b>
Висновки до розділу 5.....	174
Список літератури до розділу 5.....	176

РОЗДІЛ 6. НОВІ ВИДИ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ ТА БІСКВІТІВ ДЛЯ ОЗДОРОВЧОГО ХАРЧУВАННЯ ВІТАМІНІЗОВАНИХ ПЛОДООВОЧЕВИМИ КРІОДОБАВКАМИ.....	179
6.1 Розробка вітамінізованих булочок для оздоровчого харчування збагачених натуральними каротиноїдними кріодобавками із гарбуза та моркви, цитрусових та топінамбура.....	182
6.2 Розробка вітамінізованих бісквітів для оздоровчого харчування збагачених натуральними плодовоовочевими рослинними дрібнодисперсними кріодобавками з високим вмістом БАР.....	187
Список літератури до розділу 6.....	192
РОЗДІЛ 7 ОЗДОРОВЧІ НАНОНАПОЇ НА ОСНОВІ МОЛОЧНОЇ СИРОВАТКИ З ВИКОРИСТАННЯМ КРІОДОБАВОК ІЗ КАРОТИНОЇДНИХ ОВОЧІВ ТА ТОПІНАМБУРА .....	194
Висновки до розділу 7.....	204
Список літератури до розділу 7.....	205
РОЗДІЛ 8 НОВІ ВИДИ ОЗДОРОВЧИХ ПОРОШКОПОДІБНИХ «INSTANT» НАНОНАПОЇВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ КРІОДОБАВОК ІЗ ТОПІНАМБУРА, ГАРБУЗА ТА ЦИТРУСОВИХ.....	206
Висновки до розділу 8.....	212
Список літератури до розділу 8.....	213
РОЗДІЛ 9 НОВЕ ПОКОЛІННЯ НАТУРАЛЬНОГО НИЗЬКОКАЛОРИЙНОГО ОЗДОРОВЧОГО МОРОЗИВА З ВИКОРИСТАННЯМ КРІОДОБАВОК ІЗ ПЛОДІВ, ОВОЧІВ І ТОПІНАМБУРА...	214
9.1 Розробка технології та рецептур нових видів плодово-ягідного наноморозива на основі дрібнодисперсних заморожених кріодобавок із фруктів та овочів.....	216
9.2 Розробка технології та рецептур нового морозива парфе з використанням молочної сироватки та дрібнодисперсних кріодобавок із фруктів, овочів та топінамбура.....	226
Список літератури до розділу 9.....	236
РОЗДІЛ 10 ПРЕЗЕНТАЦІЯ РОЗРОБЛЕНОЇ АВТОРАМИ ХАРЧОВОЇ ПРОДУКЦІЇ ДЛЯ ЗДОРОВОГО ХАРЧУВАННЯ НА МІЖНАРОДНИХ КУЛІНАРНИХ ФЕСТИВАЛЯХ В УКРАЇНІ, ТУРЕЧЧИНІ, ХОРВАТІЇ, СЛОВЕНІЇ, ПОЛЬЩІ ТА ІНШИХ.....	238
ДОДАТОК. КЕРІВНИКИ НАУКОВОЇ ШКОЛИ КАФЕДРИ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРОДУКТІВ З ПЛОДІВ, ОВОЧІВ І МОЛОКА ТА ІННОВАЦІЙ В ОЗДОРОВЧОМУ ХАРЧУВАННІ ХДУХТ.....	245
Автори колективної монографії.....	249
Authors of the joint monograph.....	250

*Навчальне видання*

Р.Ю. Павлюк  
В.В. Погарська  
О.С. Бессараб  
К.С. Балабай  
О.С. Погарський  
Т.С. Абрамова  
О.О. Юр'єва  
Т.В. Кравчук  
С.М. Лосєва

**НОВИЙ НАПРЯМОК  
ГЛИБОКОЇ ПЕРЕРОБКИ  
ПЛОДІВ ТА ОВОЧІВ  
В ОЗДОРОВЧІ ПРОДУКТИ**

*Серія: Інновації при переробці  
плодів, овочів і молока  
в оздоровчі продукти*

*Монографія*

Формат 60 × 84 1/16. Ум. друк. арк. 14,88. Тираж 300 прим. Зам. №21-204.

Видавництво «ФАКТ»  
Україна, 61166, м. Харків, вул. Бакуліна, 11, оф. 2-26.  
Тел./факс: (057) 768-01-01.  
E-mail [publish\\_fakt@ukr.net](mailto:publish_fakt@ukr.net)  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3172 від 22.04.2008.

Виготовлено у ФОП В.Є. Гудзинський  
Україна, 61072, м. Харків, вул. 23-го Серпня, 27.  
+38 (057) 340-52-26, [for\\_veg@ukr.net](mailto:for_veg@ukr.net)  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ХК № 269 від 23.11.2010.