

Kotuyk Tatyana, graduate student, Department of Technology processing of fruits, vegetables and milk, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051; e-mail: ktppom@ukr.net.

*Рекомендовано до публікації д-ром техн. наук, проф. В.М. Михайловим.
Отримано 15.10.2016. ХДУХТ, Харків.*

УДК 637.338.4:637.353:544.352.2

НОВЕ СЛОВО В ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ ПЛАВЛЕНИХ СИРНИХ ВИРОБІВ БЕЗ СОЛЕЙ-ПЛАВИЛЬНИКІВ ІЗ РЕКОРДНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

**В.В. Погарська, Р.Ю. Павлюк, О.О. Юр'єва, Л.І. Скрипка,
Т.С. Абрамова, Н.П. Максимова**

Розроблено новий метод глибокої переробки сичугових сирів в плавлені сирні виробу без солей-плавильників із використанням заморожування та дрібнодисперсного подрібнення. Вивчено комплексний вплив процесів неферментативного каталізу-кріомеханолізу та заморожування сичугових сирів під час підготовки до плавлення які призводять до кріодеструкції важкорозчинних параказеїнаткальційфосфатних наноконкомплексів у розчинну форму. Установлено, що відбувається їх кріодеструкція й трансформація в наноформу (на 55...60%). Розроблено технологію оздоровчих плавлених сирних виробів. Розкрито механізми вказаних процесів.

Ключові слова: *неферментативний каталіз, механоліз, заморожування, низькотемпературне подрібнення, твердий сичуговий сир, наноконкомплекс, плавлені сирні виробу.*

НОВОЕ СЛОВО В ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПЛАВЛЕННЫХ СЫРНЫХ ИЗДЕЛИЙ БЕЗ СОЛЕЙ-ПЛАВИТЕЛЕЙ С РЕКОРДНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

**В.В. Погарская, Р.Ю. Павлюк, О.А. Юрьева, Л.И. Скрипка,
Т.С. Абрамова, Н.Ф. Максимова**

Разработан новый метод глубокой переработки сычужных сыров в плавленные сырные изделия без солей-плавителей с использованием

© Погарська В.В., Павлюк Р.Ю., Юр'єва О.О., Скрипка Л.І., Абрамова Т.С., Максимова Н.П., 2016

замораживания и мелкодисперсного измельчения. Изучено комплексное влияние процессов неферментативного катализа-криомеханолиза и замораживания сычужных сыров при подготовке к плавлению, которые приводят к криодеструкции труднорастворимых параказеинаткальций-фосфатных нанокмлексов в растворимую форму. Установлено, что происходит их криодеструкция и трансформация в наноформу (на 55...60%). Разработана нанотехнология оздоровительных плавленых сырных изделий. Раскрыты механизмы указанных процессов.

Ключевые слова: неферментативный катализ, механолиз, замораживание, низкотемпературное измельчение, твердый сычужный сыр, нанокмлекс, плавленые сырные изделия.

A NEW WORD IN TECHNOLOGY OF MELTED CHEESE PRODUCTS' RECEPTION WITHOUT MELTING SALT WITH THE RECORD CHARACTERISTICS

**V. Pogarska, R. Pavlyuk, O. Yurieva, I. Skripka,
T. Abramova, N. Maximova**

New method of deep treatment of rennet cheeses into melted cheese products without melting salt with the use of freezing and fine-dispersed grinding is developed. Complex influence of processes of non-enzymatic catalysis-cryomechanolysis and freezing of rennet cheeses during the preparation to melting is studied. It results in cryodestruction of hardly soluble paracaseinatcalciumphosphate nanocomplexes to soluble form. It is determined that their cryodestruction and transformation (55...60%) occur to Nano form. Nanotechnology of health-providing melted cheese products is developed. Mechanisms of these processes are discovered.

It is determined that destruction of hardly soluble lipide-proteic nanocomplexes and extraction of protein from bound with lipids condition to free form (33,5...35% more) occur during the complex effect of freezing and fine-dispersed grinding to rennet cheeses. Mechanisms of this process are discovered. It is associated with cryomechanodestruction (destruction) of links between lipids and proteins and non-enzymatic catalysis. It is determined that freezing and fine-dispersed grinding of rennet cheeses before melting result to cryomechanodestruction and non-enzymatic cryocatalysis (destruction) and conformational changes of molecules of protein into separated monomers – α -amino acids (55...60%). Mechanism of this process is discovered. It is associated with cryomechanocracking of molecules, destruction of peptide links of protein to separated α -amino acids and their transformation to free form. Nanotechnology of melted cheese products' reception based on rennet cheeses without melting salt is proposed and developed. It includes complex effect of freezing and fine-dispersed grinding.

The mechanisms of processes associated with cryomechanodestruction (destruction) of bonds between lipids and proteins and non-enzymatic catalysis of

proteins to separated α -amino acids are discovered. It is determined that cheese snacks developed with the use of Nano technology for pastries "Pancake" and fortified with herbal Nano additives, exceed world-known analogues by chemical composition and differ by prolonged (2 times) shelf life. In addition, the significant portion of substances (both BAS and biopolymers) in the cheese-fillings is in Nano structured form (55...60% of protein) in the form of free amino acids. Sauces-dressings, sauces-deeps and cheese-snacks and so on are also developed.

Keywords: *non-enzymatic catalysis, mechanolysis, freezing, fine-dispersed grinding, rennet cheese, nanocomplexes, melted cheese products.*

Постановка проблеми у загальному вигляді. Глобальною проблемою в міжнародній практиці в багатьох країнах світу сьогодні є незбалансованість в раціонах харчування. Спостерігається дефіцит молока, риби, м'яса, фруктів та ягід, тобто основних продуктів харчування, від яких залежать здоров'я та імунітет населення. Потреба в раціонах харчування вітамінів, білків, мінеральних речовин, каротину та інших біологічно активних речовин задовольняється на 50% [1–3]. За статистичними даними, майже 50% населення Землі голодує [1; 3]. Проблема незбалансованості та дефіциту ускладнюється погіршенням екологічної ситуації на всій Землі, яка в свою чергу призводить до додаткового зниження імунітету населення та необхідності збільшення в раціонах харчування основних продуктів та кількості БАР.

Крім того, сьогодні у світі існує ще одна важлива глобальна проблема, що призводить до погіршення здоров'я населення, на яку варто звернути увагу. Вона пов'язана із зниженням якості харчових продуктів і використанням під час їх виготовлення синтетичних компонентів. Аналіз даних періодичної літератури показав, що в останні 10–15 років у міжнародній практиці для суттєвого здешевлення продукції та збільшення власних прибутків більшість підприємств харчової промисловості стали широко використовувати різні види синтетичних харчових добавок (барвники, підсилювачі смаку, підсолоджувачі, загусники, консерванти та ін.) та виробляти синтетичні продукти [1; 3]. Існують два основних способи зменшення дефіциту продуктів харчування, які сьогодні використовуються на міжнародному ринку. Перший з них – розробка та використання в раціонах харчування штучно створених харчових продуктів, асортимент яких з кожним роком швидко зростає. На сьогодні вже існують синтетичні аналоги молока, м'яса, борошна, круп, овочів та інших харчових продуктів, які за зовнішнім виглядом і смаком не

відрізняються від натуральних [1; 2]. Другий спосіб – застосування під час виробництва харчових продуктів різних видів харчових добавок [1; 2]. Їх застосування дає змогу отримати широкий асортимент на перший погляд традиційних продуктів, для виробництва яких можна застосовувати нестандартну, некондиційну, менш якісну або в меншій кількості сировину рослинного, тваринного походження або її замітники. Протягом останніх 10–15 років набув широкого розповсюдження другий спосіб. З'явилася так звана порошкова індустрія, і сьогодні день виробництво м'ясних, молочних продуктів, хлібобулочних, кондитерських виробів, соків, напоїв та деяких інших харчових продуктів уже неможливо уявити без застосування харчових добавок, сумішей і заміників. За підрахунками вчених США, щорічне вживання населенням країни різних видів харчових добавок з продуктами харчування в середньому становить близько 2,5 кг [1; 2].

Недоліком застосування штучних продуктів і продуктів, отриманих із застосуванням штучних добавок, є низька засвоюваність і негативний вплив на здоров'я людей. Установлено, що щоденне вживання готових продуктів промислового виробництва, отриманих із застосуванням певних видів харчових добавок та штучних компонентів, може становити загрозу для здоров'я людей, спричинювати алергію та інші захворювання [1; 2]. Незважаючи на це, порошкова індустрія та виробництво синтетичних продуктів за рахунок незначної вартості таких продуктів із кожним роком усе більше розвиваються у світі. Над розробкою новітніх та над удосконаленням традиційних технологій виробництва продуктів із застосуванням харчових добавок і штучних компонентів працюють технологи-практики та науковці. У різних країнах світу існують певні верстви населення, які віддають перевагу таким штучно створеним продуктам, оскільки їх вартість значно нижча вартості натуральних продуктів.

У харчовій галузі найбільш розвинених країн світу, таких як Японія, США, Англія, Німеччина, Франція та ін., паралельно з виробництвом дешевої продукції зазначеними способами з'явився напрям виробництва продуктів оздоровчої дії. Вони відрізняються від традиційних вмістом натуральних БАП, що сприяють імунітету [3–5].

Одним із шляхів розробки технологій таких продуктів є пошук інноваційних технологічних прийомів, які дозволяють повністю виключити необхідність застосування харчових добавок і синтетичних компонентів під час їх виробництва та отримання продуктів високої якості.

До продуктів оздоровчої дії можна віднести комбіновані молочно-рослинні продукти, включаючи плавлені сири, збагачені натуральними рослинними добавками. Традиційні технології виробництва плавлених сирів передбачають необхідність застосування шкідливих для здоров'я людей харчових добавок – солей-плавильників під час підготовки подрібненої маси сичугових сирів до плавлення. У зв'язку із цим актуальним є пошук технологічних прийомів, що дають змогу повністю виключити необхідність застосування солей-плавильників у технології отримання плавлених сирів із використанням як основної сировини твердих сичугових сирів.

Відомо, що плавлені сири користуються великою популярністю у населення всіх країн світу. Це пов'язано з їх хорошими смаковими властивостями, харчовою цінністю та простою технологією виробництва. Вони є цінним джерелом для організму людини важливих функціональних нутрієнтів – повноцінних білків, незамінних амінокислот, ліпідів, мінеральних речовин, вітамінів групи В та ін. [3; 5; 6; 9]. Проте вони відрізняються низьким вмістом біологічно активних речовин і зниженими термінами зберігання. Асортимент плавлених сирів з високим вмістом БАР в Україні обмежений. Труднощі під час їх виготовлення з використанням як сировини сичугових сирів пов'язані з тим, що до їх складу входять складні важкорозчинні ліпідопротеїнові кальційфосфатні комплекси (ЛПКФК). У них ліпіди та поліпептидні ланцюги переплетені, зшиті між собою за допомогою кальцієвих містків, дисульфідних і фосфоамідних зв'язків, водневих зв'язків, а також міжмолекулярних взаємодій. Це перешкоджає їх пептизації та розчиненню під час плавлення сирів і отриманні однорідної текучої маси [3; 6; 7]. Тому однією з основних технологічних операцій у технології плавлених сирів є розм'якшення сирів і отримання однорідної текучої маси під час нагрівання за наявності солей-плавильників. При цьому одночасно відбувається пептизація та пастеризація продукту. Традиційно під час виготовлення плавлених сирів для збільшення пептизації ЛПКФК, розм'якшення та придбання сирною масою текучості використовують різні солі-плавильники, такі як солі лимонної кислоти, пірофосфати, фосфати та інші в кількості від 30 до 100 кг на 1 т продукту, які є шкідливими речовинами для організму людини [5–8].

У зв'язку із цим актуальним є пошук технологічних прийомів, які б дозволили значно зменшити кількість солей-плавильників під час виготовлення плавлених сирів [5; 10]. Наукові дослідження, що відображені в цій статті, спрямовані на пошук саме таких технологічних прийомів. Автори запропонували використовувати як інновацію

комплексну дію на сировину (тверді сичугові сири) заморожування та дрібнодисперсного подрібнення. Останні супроводжуються процесами дезагрегації, кріодеструкції, механоактивації, кріомеханохімії та руйнування важкорозчинних ліпидопротеїнових наноконкомплексів та наноасоціатів і поліпептидних ланцюгів. Це необхідно для пептизації – збільшення їх розчинення, отримання текучої сирної маси з гелієвою текстурою. Використання зазначених технологічних прийомів спрямовано на зменшення або виключення солей-плавильників під час отримання плавлених сирних виробів при використанні як основного компонента сичугових сирів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Під кріомеханодеструкцією автори роботи розуміють новий технологічний прийом, що включає дію на сировину заморожування та дрібнодисперсного механічного подрібнення, що призводить до дезагрегації, руйнування, кріодеструкції наноконкомплексів і наноасоціатів важкорозчинних речовин, які в них знаходяться. У результаті відбувається більш повне вилучення із сировини цінних компонентів. Зазначений технологічний прийом, на думку авторів, є альтернативою ферментативній обробці харчової сировини. Слід зазначити, що процеси механодеструкції та кріомеханодеструкції вже сьогодні реалізуються в таких галузях промисловості, як хімічна, металургійна, текстильна, авіаційна та ін. у таких країнах світу, як Японія, Росія, Казахстан та ін. [3; 13]. Так, наприклад, використання процесів кріо- і механохімії дозволило розробити технології порошкової металургії, технології пластмас, що не дряпаються, технології текстильної продукції з водо- та брудовідштовхуючими властивостями та ін. У харчовій промисловості, як в Україні, так і в міжнародній практиці, ці процеси майже не вивчені [11–15].

Сьогодні у світі в різних галузях промисловості спостерігається «бум» зі створення нанотехнологій, у тому числі харчових. Пояснюється це тим, що з'явилася можливість цілеспрямованого отримання дисперсних систем із частинками в нанодіапазоні (1...100 нм), контролювати їх будову та фракційний склад, що дає можливість проводити дослідження та розробки на молекулярному, атомарному, мікрмолекулярному рівнях. Це дозволяє отримати матеріали, системи, структури тощо з принципово новими властивостями. Це пов'язано з тим, що в діапазоні нанорозмірів частинки різних матеріалів отримують принципово нові властивості, які не характерні для великого зразка. Наочним прикладом може слугувати желатин, який розчиняється після набухання в гарячій воді через декілька годин, а ось дрібнодисперсно подрібнений (в нанометровому діапазоні)

розчиняється в холодній воді (за температури +18...+20°C) протягом хвилини. Подібних прикладів можна навести багато. Суть процесів, які відбуваються в об'єктах, що знаходяться в нанорозмірній формі, неможливо описати, використовуючи відомі сучасній науці закономірності. Тут необхідні глибокі фундаментальні дослідження.

Авторами протягом 30-ти років вивчалось застосування криогенного подрібнення та процесів механоактивації, кріомеханодеструкції (без застосування холоду) і заморожування в харчовій промисловості. Зокрема, авторами отримані дрібнодисперсні нанопорошки та гомогенні пасти з фруктів, ягід, овочів, лікарської та пряно-ароматичної рослинної сировини, продуктів бджільництва [2; 14; 15]. Уперше у світовій практиці під час переробки різної сировини були виявлені нові явища й ефекти, розкриті їх механізми. Показано, що процеси кріомеханодеструкції, механоактивації, заморожування й кріомеханохімії призводять до істотної деструкції та дезагрегації біологічних наноконструкцій – біополімер–БАР і вивільнення БАР із прихованих і неактивних форм [2]. Виявлено також кріомеханодеструкцію біополімерів (білків, полісахаридів, целюлози, пектинових речовин), їх руйнування до окремих мономерів, що призводять до ефекту «збагачення» і більш повного вилучення їх із сировини та кращого засвоєння організмом людини [2; 14; 15].

Аналіз періодичної літератури за останні 10 років показав, що вченими було виявлено значний вплив криогенного подрібнення желатину, яке призводило до істотної зміни його вихідних властивостей і розчинення за кімнатної температури [2]. Виявлено також, що використання процесів дрібнодисперсного механічного подрібнення під час отримання полімерів пластмас, каучуку та ін. призводило до зниження їх молекулярної маси, появи нових функціональних груп і ланок, до зміни їх розчинності [2; 14]. У зв'язку із цим можна було припустити, що використання процесів заморожування і кріомеханодеструкції призведе до деструкції, дезагрегації, механолізу та пептизації складних комплексів ЛПККФК твердих сичугових сирів. Це буде сприяти їх кращому плавленню із зменшеною кількістю солей-плавильників або без них (вище було зазначено без солей-плавильників). У молочній промисловості триває безперервний пошук технологічних прийомів, спрямованих на зменшення кількості солей-плавильників під час виробництва плавлених сирів. Провідним вченим України та Росії вдалося зменшити їх кількість всього на 20% [3; 5; 10–12].

Таким чином, аналіз літературних джерел показав, що праці з дослідження плавлених сирів здебільшого присвячені збагаченню їх різними харчовими добавками [2; 10; 14; 15]. Але асортимент

продукції плавлених сирів, який сьогодні існує на ринку, і харчові добавки, які використовують під час їх виготовлення відрізняються низьким вмістом БАР [5].

У зв'язку із цим перспективним є вивчення впливу процесів глибокої переробки, зокрема заморожування та дрібнодисперсного подрібнення, під час підготовки сичугових сирів до плавлення. Метою є отримання плавлених сирних виробів високої якості без використання солей-плавильників. Зокрема, становлять інтерес дослідження впливу комплексної дії заморожування та дрібнодисперсного подрібнення на кріодеструкцію ліпідопротейнових наноконкомплексів і наноасоціатів. Доцільним є дослідження руйнування білків, трансформації зв'язаних α -амінокислот у вільну форму, конформаційних змін молекул білка тощо. Актуальним є розробка нанотехнології плавлених сирних виробів без використання солей-плавильників і збагачення різними рослинними біологічно активними речовинами, які мають імуномодулюючу, детоксикуючу та антиокиснювальну дію.

Отримані напівфабрикати плавлених сирів для оздоровчого харчування без солей-плавильників авторами були використані під час виготовлення сирних начинок для «ПанКейків», круасанів, закусок, соусів-дресингів, соусів-дипів, оригінальних закусок – фалафелів тощо.

Метою статті є вивчення впливу процесів заморожування, механоактивації та неферментативного каталізу на руйнування важкорозчинних ліпідопротейнових наноконкомплексів твердих сичугових сирів без солей-плавильників під час розробки нанотехнології оздоровчих плавлених сирних виробів.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі завдання:

- вивчити закономірності та механізми впливу заморожування та неферментативного каталізу-механолізу на більш повне вилучення прихованих форм білка із важкорозчинних ліпідопротейнових наноконкомплексів твердих сичугових сирів;

- вивчити вплив комплексної дії на сировину неферментативного каталізу та заморожування на механоліз (руйнування) білка та конформаційні зміни молекул білка твердого сичугового сиру;

- розробити нанотехнології оздоровчих плавлених сирних виробів без солей-плавильників на основі твердих сичугових сирів із використанням як інновації процесів заморожування та неферментативного каталізу й натуральних рослинних збагачувальних добавок;

– вивчити хімічний склад нових сирних виробів – начинок для кондитерських виробів «ПанКейк», отриманих за технологією, та порівняти їх якість з аналогами та вихідною сировиною.

Виклад основного матеріалу дослідження. Головним під час розробки нанотехнологій оздоровчих сирних виробів із використанням заморожування та неферментативного каталізу-кріомеханолізу та твердих сичугових сирів було максимально зменшити кількість солей-плавильників під час підготовки твердих сичугових сирів (ТСС) до плавлення, а також зруйнувати важкорозчинні ліпідопротеїнові наноконплекси та наноасоціати, вилучити білок із зв'язаного стану, провести пептизацію та здійснити процес плавлення з мінімальною кількістю солей-плавильників або без них. Це можливо у разі використання низькотемпературного дрібнодисперсного подрібнення та заморожування, що супроводжуються процесами кріодеструкції та неферментативного каталізу.

Отримані оздоровчі плавлені сирні вироби порівняно з традиційними виробами не містять шкідливі для організму людини солі-плавильники, які спричинюють захворювання нирок, жовчної системи, суглобів, алергій тощо. Отримані сирні нанопап'єфабрикати (або основи) із сичугових сирів у формі гомогенізованої еластичної маси порівняно з традиційними є більш технологічними. Вони краще розчиняються та диспергуються й емульгуються у воді та жирових і овочевих дисперсних системах і утворюють однорідну гомогенну стабільну гелієву структуру.

Як основу під час виготовлення плавлених сирних виробів використовували різні зразки твердого сичугового сиру «Російський». Показано, що твердий сичуговий сир, як і слід було очікувати, містить значну кількість білків і жиру ($29,6 \pm 1,5\%$ і $28,8 \pm 1,2\%$ відповідно у співвідношенні 1:1) та відрізняється високим вмістом мінеральних речовин (4%). Показано білки сичугового сиру представлені зв'язаними та вільними амінокислотами. Так, сумарна кількість α -амінокислот у сичуговому сирі становить 29,7 г у 100 г, із них вільні амінокислоти становлять 25...26% від загальної кількості α -амінокислот (відповідно 6,2 г у 100 г і 23,4 г у 100 г), зв'язані амінокислоти – 74...75%. Показано, що твердий сичуговий сир містить усі незамінні α -амінокислоти (лізин, триптофан, треонін, валін, метіонін, ізолейцин, лейцин, фенілаланін), які згідно зі шкалою ФАО/ВОЗ знаходяться в збалансованому стані.

Установлено, що під час обробки твердих сичугових сирів перед процесом плавлення з використанням заморожування та дрібнодисперсного подрібнення відбувається руйнування

важкорозчинних ліпідопротейнових наноконкомплексів і наноасоціатів і вивільнення (екстрагування) білка із зв'язаного, прихованого, неактивного стану з ліпідами та мінеральними речовинами у вільний стан – на 33,3...35,0% більше, ніж у вихідній сировині (табл. 1, рис. 1).

Таблиця 1

Вплив кріомеханолізу та заморожування твердого сичугового сиру на вміст α -амінокислот у вільному та зв'язаному стані

| Назва амінокислоти | Зв'язані амінокислоти твердого сичугового сиру | | | | Вільні амінокислоти твердого сичугового сиру | | | |
|----------------------|--|--|----------------|--------------------------------|--|--|----------------|--------------------------------|
| | у вихідному сири, мг в 100 г | після механолізу і заморожування, мг в 100 г | % до вихідного | збільшення до вихідного, разів | у вихідному сири, мг в 100 г | після механолізу і заморожування, мг в 100 г | % до вихідного | збільшення до вихідного, разів |
| Валін | 450 | 1080 | 240,0 | 2,4 | 340 | 960 | 282,3 | 2,8 |
| Ізолейцин | 920 | 2100 | 228,0 | 2,3 | 650 | 1250 | 192,0 | 1,9 |
| Лейцин | 2300 | 2550 | 111,0 | 1,1 | 130 | 250 | 192,0 | 2,0 |
| Лізин | 1240 | 3140 | 253,2 | 2,5 | 360 | 550 | 153,0 | 1,5 |
| Метіонін | 1040 | 1120 | 108,0 | 1,1 | 400 | 600 | 150,0 | 1,5 |
| Треонін | 710 | 1240 | 175,0 | 1,7 | 120 | 240 | 200,0 | 2,0 |
| Триптофан | 700 | 700 | 100,0 | 1,0 | 400 | 400 | 100,0 | 1,0 |
| Фенілаланін | 1070 | 1480 | 138,0 | 1,4 | 230 | 640 | 278,0 | 2,8 |
| Аргінін | 1910 | 1300 | 67,9 | – | 430 | 870 | 202,0 | 2,0 |
| Аспарагінова кислота | 1330 | 2310 | 174,0 | 1,7 | 200 | 490 | 245,0 | 2,5 |
| Гістидин | 1010 | 1240 | 123,0 | 1,2 | 80 | 150 | 188,0 | 1,9 |
| Глїцин | 410 | 560 | 137,0 | 1,4 | 70 | 140 | 200,0 | 2,0 |
| Глютамінова кислота | 4410 | 4700 | 107,0 | 1,1 | 1620 | 1790 | 110,0 | 1,1 |
| Пролін | 1720 | 2760 | 160,0 | 1,6 | 60 | 150 | 250,0 | 2,5 |
| Серин | 1100 | 1840 | 167,0 | 1,7 | 310 | 370 | 119,0 | 1,2 |
| Тирозин | 2210 | 1630 | 73,7 | – | 240 | 340 | 142,0 | 1,4 |
| Цистин | 300 | 300 | 100,0 | 1,0 | 540 | 420 | – | – |
| Аланін | 580 | 1200 | 207,0 | 2,1 | 90 | 260 | 289,0 | 2,9 |
| ВСЬОГО: | 23410 | 31250 | 33,5 | 1,33 | 6270 | 9870 | 57,4 | 1,57 |

Так, наприклад, у вихідному сичуговому сири зв'язаних амінокислот міститься 23,4 г, а у замороженому та дрібнодисперсно подрібненому – 31,3 г у 100 г. Установлено механізм цього процесу, який пов'язаний із кріомеханокрекінгом, механодеструкцією (руйнуванням) зв'язків між ліпідами та білком. Цей процес руйнування наноконкомплексів і наноасоціатів біополімерів пов'язаний із неферментативним каталізом

(руйнуванням), кріодеструкцією та кріомеханолізом. Це свідчить про те, що білок вивільнився із зв'язаного з наноконплесами стану у вільний. На думку авторів, наноконплеси та наноасоціати є складними важкорозчинними ліпидопротеїнкальційфосфатними комплексами (ЛПКФК). У них ліпіди та поліпептидні ланцюги переплетені, зшиті між собою за допомогою кальцієвих містків, дисульфідних і фосфоамідних зв'язків, водневих зв'язків, а також міжмолекулярних взаємодій. Це перешкоджає їх пептизації та розчиненню під час плавлення сирів і отримання однорідної текучої маси [3; 6; 7]. Тому однією з основних технологічних операцій у технології плавлених сирів є розм'якшення сирів і отримання однорідної текучої маси під час нагрівання за наявності солей-плавлеників. При цьому одночасно відбувається пептизація та пастеризація продукту.

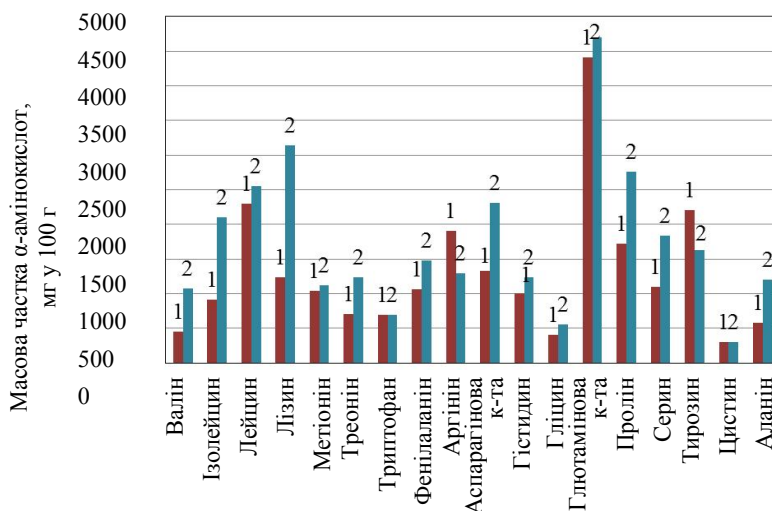


Рис. 1. Вплив заморожування та неферментативного каталізу-кріомеханолізу на руйнування ліпідопараказейнаккальційфосфатних наноконплесів і наноасоціатів і вивільнення білка із зв'язаного стану з ліпідами у вільний (за кількістю зв'язаних α -амінокислот у молекулах білка) у вихідному сичуговому сирі (1 – ■) порівняно із замороженим і дрібнодисперсно подрібненим (2 – ■)

Установлено також, що за вказаної обробки сичугових сирів відбувається неферментативний кріокаталіз (руйнування) білків до мономерів вільних α -амінокислот на 55–60% (табл. 1, рис. 2). Установлено, що під час кріомеханолізу та заморожування частина

α -амінокислот із зв'язаного стану трансформується у вільну форму. Так, масова частка вільних α -амінокислот у заморожених дрібнодисперсних пастоподібних сирах збільшувалася в 1,1...2,9 разу (до їх кількості у вихідному твердому сичуговому сирі до низькотемпературного подрібнення).

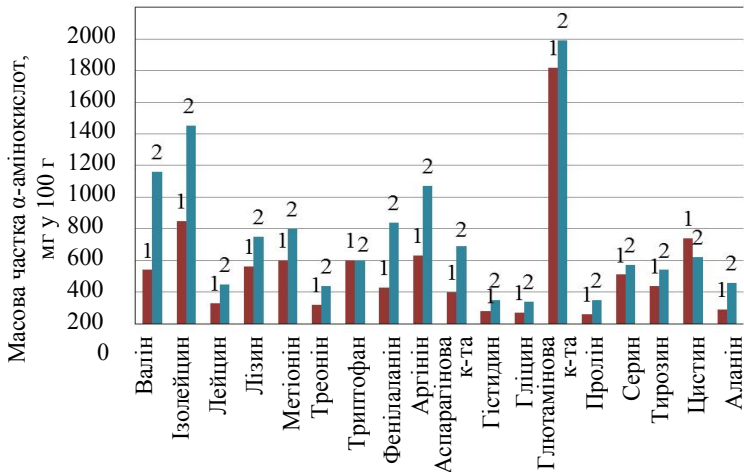


Рис. 2. Вплив заморожування та неферментативного каталізу-кріомеханолізу на кріодеструкцію – руйнування білка сичугових сирів (1 – ■) до окремих мономерів (α -амінокислот) і трансформацію їх у вільну форму під час підготовки їх до плавлення, пептизації та пастеризації й виготовлення сирних виробів без солей-плавильників (2 – ■)

Показано, що найбільше збільшення масової частки амінокислот становить 2,8...2,9 разу і спостерігається для таких α -амінокислот, як аланін, валін, фенілаланін. Для проліну й аспарагінової кислоти збільшення становить 2,5 разу, для треоніну, гліцину, ізолейцину, лейцину, гістидину і аргініну – 1,9...2,0 рази. Найменше збільшення масової частки вільних α -амінокислот спостерігається для глютамінової кислоти, триптофану, серину і цистину.

Показано, що кріомеханоліз і заморожування твердих сичугових сирів суттєво інтенсифікують процес руйнування білково-ліпідних комплексів і сприяють механічному руйнуванню (механолізу) білків до окремих вільних амінокислот. Механізм цього процесу пов'язаний із тим, що під час механічного подрібнення в результаті механокрекінгу виникають такі критичні енергетичні напруги в ланках біополімерного ланцюга білка, які призводять до розриву, руйнування

пептидних, а також водневих зв'язків, розриву кальцієвих містків і значного руйнування білкових молекул до вільних амінокислот. Різний ступінь збільшення масової частки різних видів α -амінокислот під час кріомеханолізу білка пов'язаний із специфічністю амінокислотного складу білків твердих сичужових сирів.

Вивчення процесів механолізу та заморожування, які відбуваються під час кріогенного «шокового» заморожування та низькотемпературного подрібнення, свідчить про те, що комплексна дія заморожування та механічного подрібнення призводить до руйнування біополімерів білка до окремих мономерів – амінокислот (на 55...60%). Відомо, що розміри молекул α -амінокислот коливаються від 0,4 до 1,5 нм [3], тобто сирні продукти, які отримані з використанням кріомеханолізу, перебувають у нанорозмірній формі. У зв'язку із цим можна було припустити, що зазначені технологічні прийоми можуть спричинювати конформаційні зміни молекул, стирання молекул, зміни їх об'єму, форми, зменшення молекулярної маси. Відомо, що колоїдні властивості білків, їх здатність утворювати гелі залежать від гідрофільних властивостей залишків амінокислот, що входять до їх складу. Це має принципове значення для плавлення, пептизації головного слабкорозчинного білка твердого сичужового сиру – параказеїну [3; 10–12; 14].

Завданням цієї статті було вивчення впливу заморожування та кріомеханодеструкції твердого сичужового сиру на конформаційні зміни молекул білка (об'єм, радіус, радіус ядра, показник заповнення ядра молекули гідрофобними залишками) за допомогою методу Е.Г. Фішера.

Амінокислотні залишки, що входять до складу поліпептидного ланцюга, як відомо, можна умовно поділити на полярні і неполярні. Органічні сполуки, які містять полярні групи, добре розчиняються у воді, здатні вступати в диполь – дипольну взаємодію з молекулами води й утворювати з ними водневі зв'язки, є гідрофільними. Аналіз даних літератури показав, що в основі білок-білкового комплексоутворення, а також комплексоутворення із солями лежить гідрофобна взаємодія. Молекули білка складаються з гідрофільних (полярних) і гідрофобних (неполярних) залишків амінокислот. Полярні залишки прагнуть до максимального контакту з водним оточенням, а неполярні – до мінімального контакту. Тому у воді гнучка молекула білка згортається в глобулу. При цьому утворюється компактне тіло – кулька з гідрофобним ядром і гідрофільною поверхнею.

Вивчено вплив заморожування та кріомеханодеструкції на вміст у молекулах білка твердого сичужового сиру гідрофільних і гідрофобних залишків амінокислот (табл. 2). Показано, що під час заморожування та кріомеханодеструкції паралельно з деструкцією частини білка до окремих амінокислот і простих пептидів відбувається зменшення в молекулах білка масової частки гідрофільних (ГФЛ)

залишків амінокислот (C_n), збільшення гідрофобних (ГФ) залишків (C_{in}) і зменшення співвідношення між ними (C_n/C_{in}).

Таблиця 2

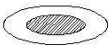

Вплив кріомеханолізу та заморожування твердого сичугового сиру на вміст у молекулах білка гідрофільних і гідрофобних залишків амінокислот

| Амінокислота | Масова частка зв'язаних амінокислот білка, % | | Ступінь гідрофобності, ΔF кДж/моль | Ступінь гідрофобності зв'язаних амінокислот білка (ΔF , кДж/моль) | |
|--|--|---|--|--|---|
| | вихідний твердий сичуговий сир | твердий сичуговий сир після кріомеханолізу та заморожування | | вихідний твердий сичуговий сир | твердий сичуговий сир після кріомеханолізу та заморожування |
| Гідрофільні залишки амінокислот | | | | | |
| Аланін | 2,48 | 3,84 | 3,05 | 7,56 | 11,71 |
| Аргінін | 8,16 | 4,16 | 3,05 | 24,89 | 12,69 |
| Цистин | 1,28 | 0,96 | 2,71 | 3,47 | 2,60 |
| Глутамінова кислота | 18,84 | 15,04 | 2,50 | 47,10 | 37,60 |
| Аспарагінова кислота | 5,68 | 7,39 | 2,26 | 12,84 | 16,70 |
| Треонін | 3,03 | 3,97 | 1,84 | 5,58 | 7,30 |
| Серин | 4,7 | 5,89 | 0,17 | 0,80 | 1,00 |
| Гліцин | 1,75 | 1,78 | 0 | 0 | 0 |
| Сума: | 45,92 | 43,03 | | 102,24 | 89,60 |
| Гідрофобні залишки амінокислот | | | | | |
| Валін | 1,92 | 3,46 | 7,06 | 13,55 | 24,43 |
| Ізолейцин | 3,93 | 6,72 | 12,4 | 48,73 | 83,33 |
| Лейцин | 9,82 | 8,16 | 10,10 | 99,18 | 82,42 |
| Лізин | 5,3 | 10,05 | 6,27 | 33,23 | 63,01 |
| Метіонін | 4,44 | 3,58 | 5,45 | 24,20 | 19,51 |
| Триптофан | 3,0 | 2,24 | 12,50 | 37,50 | 28,0 |
| Фенілаланін | 4,57 | 4,74 | 11,10 | 50,73 | 52,61 |
| Гістидин | 4,31 | 3,97 | 5,85 | 25,21 | 23,22 |
| Пролін | 7,35 | 8,83 | 10,85 | 79,75 | 95,80 |
| Тирозин | 9,44 | 5,22 | 12,00 | 113,28 | 62,64 |
| Сума: | 54,08 | 56,97 | – | 525,37 | 534,97 |
| Гідрофільні та гідрофобні залишки амінокислот | | | | | |
| Сума: | 100,0 | 100,0 | | 627,61 | 624,57 |

Установлено, що порівняно з вихідною сировиною під час заморожування і низькотемпературного подрібнення масова частка гідрофільних залишків амінокислот у 100 г білка зменшується на 6,3% і паралельно збільшується масова частка гідрофобних залишків на 5,3% (табл. 3).

Таблиця 3

Порівняльна характеристика білкових молекул вихідного твердого сичугового сиру та після кріомеханолізу й заморожування

| Показники | Твердий сичуговий сир | |
|---|---|--|
| | вихідний | після обробки |
| Вміст полярних залишків амінокислот, C_n | 45,92 | 43,03 |
| Вміст неполярних залишків амінокислот, C_{np} | 54,08 | 56,97 |
| Співвідношення C_n/C_{np} | 0,85 | 0,76 |
| Радіус молекули, r_o , мкм | $0,2265 \cdot 10^{-2}$ | $0,2474 \cdot 10^{-2}$ |
| Радіус ядра молекули, r , мкм | $0,1765 \cdot 10^{-2}$ | $0,1974 \cdot 10^{-2}$ |
| Об'єм молекули, V , мкм ³ | $0,04 \cdot 10^{-6}$ | $0,08 \cdot 10^{-6}$ |
| Показник заповнення ядра молекули гідрофобними залишками, (b) за графіком | 0,90 | 0,45 |
| Форма білкової молекули |  (b > b _s) витягнутий еліпсоїд |  (b < b _s) надмолекулярні структури |

Крім того, змінюється співвідношення між гідрофільними та гідрофобними залишками з 0,85 до 0,76. Отримані результати дали можливість провести порівняння розміру та форми білкових молекул твердого сичугового сиру вихідного та після заморожування й низькотемпературного подрібнення відповідно до теорії Е.Г. Фішера (табл. 3).

Установлено, що заморожування та кріомеханодеструкція призводять до збільшення радіуса, обсягу білкової молекули, радіуса її ядра, а також до зменшення показника заповнення ядра гідрофобними залишками. Крім того, змінюється форма білкових молекул. Так, радіус білкової молекули твердого сичугового сиру після кріомеханолізу та заморожування зростає на 9,2% та становить $0,2265 \cdot 10^{-2}$ мкм (порівняно з $0,2474 \cdot 10^{-2}$ мкм у вихідному твердому сичуговому сиру). Її об'єм збільшується в 2 рази та становить $0,08 \cdot 10^{-6}$ мкм (в порівнянні з $0,04 \cdot 10^{-6}$ мкм у вихідному сиру). Співвідношення

суми гідрофільних і гідрофобних залишків амінокислот вихідних сичугових сирів до криогенної обробки та дрібнодисперсного подрібнення сиру відповідно становить 0,85 і 0,76. При цьому збільшується в 1,1 разу радіус ядра молекули й одночасно в 2 рази зменшується показник заповнення ядра гідрофобними залишками.

Відповідно до теорії Е.Г. Фішера встановлено, що молекули вихідного твердого сичугового сиру мають вигляд еліпсоїдів, а після криомеханолізу та заморожування набувають вигляду надмолекулярних структур (табл. 3). Це сприяє збільшенню доступності, розчинності, пептизації білкових молекул під час підготовки твердих сичугових сирів до плавлення й отримання однорідної текучої гелієвої текстури сирної маси.

На основі експериментальних досліджень розроблено нанотехнологію плавлених сирних виробів із використанням сичугових сирів, яка виключає солі-плавильники і від традиційних відрізняється використанням заморожування до температури -18°C та дрібнодисперсного подрібнення за температури не менше -10°C до розміру частинок, які в декілька разів менше, ніж за традиційного подрібнення. Технологія також включає процес пастеризації (за температури $70\text{...}75^{\circ}\text{C}$) і плавлення (без солей-плавильників) та гомогенізацію. Збагачення сирних виробів передбачає введення натуральних рослинних каротиноїдних добавок у формі нанопорошку (із моркви або гарбуза), нанопорошку із часнику, а також нанопорошків, наноекстрактів із натуральних прянощів (перцю чорного горошку, перцю духмяного, коріандру тощо). Крім того, технологія передбачає фасування й упакування в газовологосвітлонепроникну упаковку або посадку готової начинки на кондитерський млицень «ПанКейк» (рис. 3).

Введення перерахованих рослинних добавок із високим вмістом БАР, таких як терпеноїди (ароматичні речовини, ефірні олії, каротиноїди та ін.) та фенольні сполуки, в плавлені сирні вироби дозволяє збагатити сирні вироби рослинними БАР. Це дозволяє збільшити термін зберігання виробів у 2,5–3,0 рази порівняно з терміном зберігання сирних виробів без БАР.

Як аналоги були виготовлені модельні системи із сичугових сирів з використанням для плавлення різної дози солей-плавильників, які прийнято використовувати в традиційних технологіях виготовлення плавлених сирів (0,5%; 1,0%; 1,5%; 2,0%). Установлено, що комплексне використання заморожування та криомеханодеструкції дозволяє повністю виключити, а не зменшити кількість солей-плавильників.

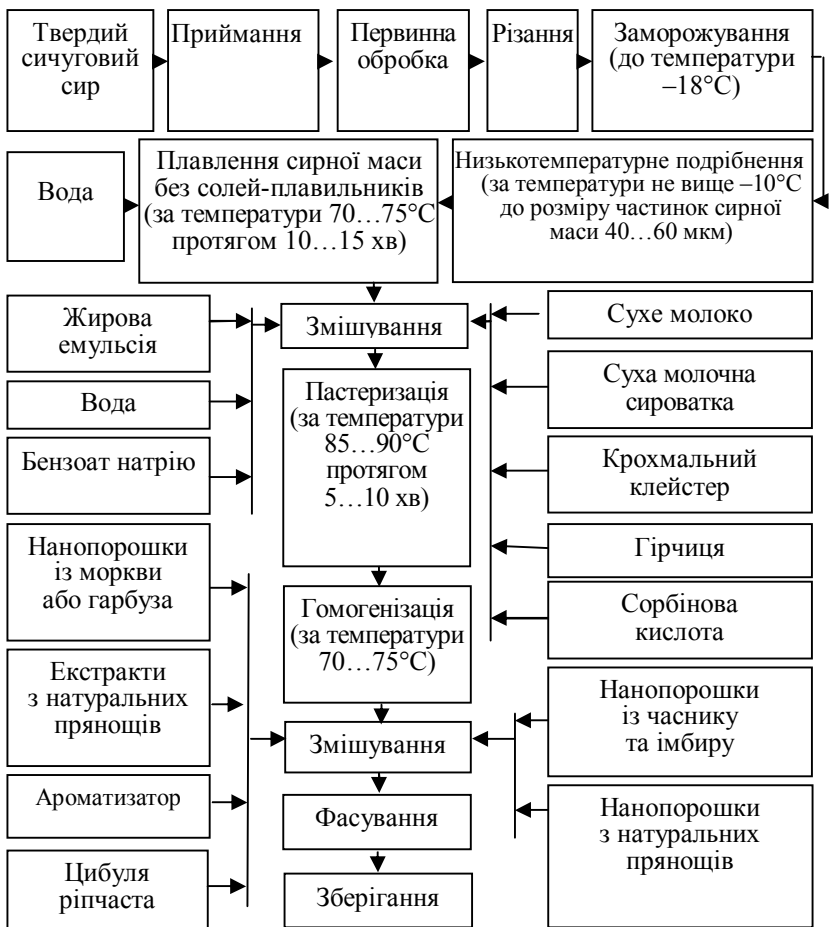


Рис. 3. Принципова технологічна схема виробництва сирних плавлених продуктів із використанням заморожування, дрібнодисперсного подрібнення та нанопорошків із прянощів, прямих та каротиновмісних овочів

Розроблено технології та рецептури оздоровчих плавлених сирних виробів з використанням як сировини твердих сичугових сирів та інновації – процесів його заморожування та неферментативного каталізу під час підготовки їх до плавлення. Це такі вироби: сирні начинки для кондитерських виробів «ПанКейк», пастоподібні плавлені сири, сирні соуси-дресинги та сирні соуси-дипи. Технологія сирних начинок для

кондитерських виробів «ПанКейк» упроваджена в серійне виробництво на підприємстві ТОВ ПКГ «Лісова казка», м. Харків (рис. 4).



Рис. 4. Дільниця технологічної лінії виробництва кондитерських виробів «ПанКейк» із сирною начинкою (промислове виробництво на ТОВ ПКГ «Лісова казка», м. Харків)

Розроблено чотири рецептури сирних начинок для кондитерських виробів «ПанКейк», збагачених рослинними нанодобавками: «Сирна з часником», «Сирна із часником і беконем», «Сирна з грибами», «Сирна з овочами». Вони відрізняються видом і кількістю внесених нанопорошків із моркви або гарбуза (2,5...5%), а також нанопорошків з часнику та натуральних прянощів (1,0 і 3,0%) та екстрактів з натуральних прянощів (1,5 і 2,0%). Нанопорошки з моркви, гарбуза, пряних овочів і натуральних прянощів розроблені авторами статті. Нанопорошки – це дрібнодисперсні порошки в нанорозмірній формі. При цьому 60...70% продукту знаходиться з розміром частинок по декілька нанометрів, зокрема, розміри молекули α -амінокислот, глюкози, фруктози, галактуранової кислоти, L-аскорбінової кислоти, жирних кислот, каротину та ін. знаходяться в інтервалі від 0,5 до 1,5 нм. Частина біополімерів і нанокмплексів знаходиться у важкорозчинному стані. Розмір молекул біополімерів і нанокмплексів знаходиться в діапазоні від 50 нм до 5...10 мкм. Вивчено якість нових сирних начинок за вмістом БАР і фізико-хімічними показниками (табл. 4).

Показано, що нові види сирних начинок відрізняються високим вмістом БАР, у тому числі тих, що мають антиоксидантні властивості. Так, вміст у 100 г начинок ароматичних речовин становить 15,3...37,5 мг тіосульфату натрію, загальних фенольних сполук – 25,1...27,8 мг, флавонолових глікозидів – 5,3...6,7 мг, вільних катехінів – 5,2...6,5 мг, дубильних речовин – 33,8...61,1 мг, β -каротину – 3,0...3,5 мг.

Таблиця 4

Вміст біологічно активних речовин, білка та незамінних амінокислот у сирних начинках для кондитерських виробів «ПанКейк», збагачених рослинними нанодобавками, отриманих за нанотехнологією

| Найменування показника | Плавлені сирні начинки, збагачені рослинними наноструктурованими добавками та виготовлені за нанотехнологією | | | |
|---|--|-------------------------------|-------------------|-------------------|
| | «Сирна із часником» | «Сирна із часником і беконом» | «Сирна з грибами» | «Сирна з овочами» |
| Блок, % | 28,7 | 26,6 | 24,6 | 22,5 |
| Незамінні амінокислоти, мг у 100 г | | | | |
| Валін | 1428 | 1326 | 1224 | 1122 |
| Ізолейцин | 2345 | 2177,5 | 2010 | 1842,5 |
| Лейцин | 1960 | 1820 | 1680 | 1540 |
| Лізин | 2583 | 2398,5 | 2214 | 2029,5 |
| Метіонін | 1204 | 1118 | 1032 | 946 |
| Треонін | 1036 | 962 | 888 | 814 |
| Триптофан | 770 | 715 | 660 | 605 |
| Фенілаланін | 1484 | 1378 | 1272 | 1166 |
| β-каротин, мг у 100 г | 3,0 | 3,1 | 3,5 | 3,2 |
| Фенольні сполуки (за хлорогеновою кислотою), мг у 100 г | 25,1 | 27,8 | 26,4 | 25,8 |
| флавонолові глікозиди (за рутином), мг у 100 г | 5,3 | 6,5 | 5,5 | 6,7 |
| вільні катехіни (за d-катехіном) | 5,4 | 6,1 | 5,2 | 6,5 |
| Дубильні речовини (за таніном), мг у 100 г | 61,1 | 33,8 | 45,6 | 38,4 |
| Ароматичні речовини, мг Na ₂ S ₂ O ₃ | 37,5 | 15,3 | 28,4 | 32,9 |
| Жир, % | 20,0 | 21,2 | 23,4 | 24,6 |
| Сухі речовини, % | 69,9 | 70,0 | 65,4 | 63,8 |

У контролі – плавленій сирно-овочевій начинці без збагачувальних добавок перераховані БАР відсутні. Під час вивчення

фізико-хімічних показників встановлено, що в сирно-овочевих начинках вміст білка становить 22,5...28,7%, жиру – 20...24,6%, вологи – 30,0...34,6%. Таким чином, в нових сирно-овочевих начинках поряд з білками (22,5...28,7%) і жирами (20,0...24,6%) міститься значна кількість БАР рослинної сировини з імуномодулюючими та антиоксидантними властивостями, а саме $\frac{1}{2}$ добової потреби в β -каротині та добова норма у фенольних сполуках. Аналіз хімічного складу дозволяє віднести нові плавлені сирні вироби до оздоровчих продуктів харчування.

Нові технології оздоровчих плавлених сирних виробів пройшли апробацію в промислових умовах на низці підприємств України (ТОВ ВКГ «Лісова казка», НВП «ФІПАР», НВП «КРІАС-1»). Розроблено та затверджено нормативну документацію (ТУ, ТІ на сирно-овочеві начинки для кондитерських виробів «ПанКейк» та сирні соуси-дресинги).

Висновки. Установлено, що у разі комплексної дії на тверді сичугові сири заморожування та дрібнодисперсного подрібнення відбувається руйнування важкорозчинних ліпидопротеїнових наноконкомплексів і вивільнення білка із зв'язаного з ліпідами стану у вільний стан (на 33,5...35% більше). Розкрито механізми цього процесу, який пов'язаний з кріомеханодеструкцією (руйнуванням) зв'язків між ліпідами та білком і неферментативним каталізом.

Установлено, що під час заморожування та дрібнодисперсного подрібнення сичугових сирів перед плавленням відбувається кріомеханодеструкція та неферментативний кріокаталіз (руйнування) та конформаційні зміни молекул білків до окремих мономерів – α -амінокислот на 55...60%. Розкрито механізм цього процесу, який пов'язаний із кріомеханокрекінгом молекул білка за рахунок руйнування пептидних зв'язків у білку до окремих α -амінокислот і їх трансформації у вільну форму.

Запропонована та розроблена нанотехнологія виготовлення плавлених сирних виробів на основі твердих сичугових сирів без солей-плавильників, яка включає комплексну дію заморожування та дрібнодисперсного подрібнення. Розкриті механізми процесів, які пов'язані з кріомеханодеструкцією (руйнуванням) зв'язків між ліпідами та білком і неферментативним каталізом білка до окремих α -амінокислот.

Установлено, що розроблені за нанотехнологією сирні начинки для кондитерських виробів «ПанКейк» збагачені рослинними добавками за хімічним складом перевищують відомі аналоги та відрізняються збільшеним в 2 рази терміном зберігання. Крім того, значна частина речовин (як БАР, так і біополімерів) у сирних начинках

перебуває в наноструктурованій формі (55...60% білка) в формі вільних амінокислот. Розроблено також соуси-дресинги, соуси-дипи та сирні закуски та ін.

Список джерел інформації / References

1. FAO/WHO/UNU (2013), Dietary protein quality evaluation in human nutrition. Report of an FAO Expert Consultation, *Food and agriculture organization of the united nations Rome*, Vol. 92-57.

2. Павлюк Р. Ю. Кримо- і механохімія в пищевих технологіях: монографія / Р. Ю. Павлюк, В. В. Погарская, В. А. Павлюк и др. ; Харьк. гос. ун-т питания и торговли; Харьк. торг.-эконом. ин-т Киевск. нац. торг.-эконом. ун-та. – Х. : Факт, 2015. – 255 с.

Pavlyuk, R., Pogarskaya, V., Pavlyuk, V., Radchenko, L., Yur'eva, O., Maksimova, N. (2015), *Cryo- and Mechanochemistry in the food technology: monography [Кримо- і механохімія в пищевих технологіях: монографія]*, Kharkov State University of Food Technology and Trade; Kharkov trade and economic Institute of Kyiv national University of trade and economy, Fact, Kh., 255 p.

3. Apurba Giri, Kanawjia Suresh K., Avneet Rajoria (2014), “Effect of phytosterols on textural and melting characteristics of cheese spread”, *Food Chemistry*, No. 157, pp. 240-245.

4. Boisard, L., Andriot, I., Martin, Ch., Septier, Ch., Boissard, V., Salles, Ch., Guichard, E. (2014), “The salt and lipid composition of model cheeses modifies in-mouth flavour release and perception related to the free sodium ion content”, *Food Chemistry*, No. 145, pp. 437-444.

5. McCarthy, Catherine M., Wilkinsonb, Martin G., Kellya, Philip M., Guinee, Timothy P. (2016), “Effect of salt and fat reduction on proteolysis, rheology and cooking properties of Cheddar cheese”, *International Dairy Journal*, No. 56, pp. 74-86.

6. Hougard, Anni B., Sijbrandij, Anna G., Varming, Camilla, Ardö, Ylva, Ipsen, Richard (2015), “Emulsifying salt increase stability of cheese emulsions during holding”, *LWT - Food Science and Technology*, No. 62, Part 1, Issue 1, pp. 362-365.

7. Amamcharla, J.K., Metzger, L.E. (2015), “Prediction of process cheese instrumental texture and melting characteristics using dielectric spectroscopy and chemometrics”, *Journal of Dairy Science*, No. 98, Issue 9, pp. 6004-6013.

8. Katarzyna, K. (2008), “Czynniki kształtujące teksturę serów topionych”, *ŻYWNOSĆ. Nauka. Technologia, Jakość*, No. 3 (58), pp. 5-17.

10. Cichosz, G. (2000), *Technologia serów topionych*, Warszawa : Hoza., – P. 255.

9. Surmacka-Szcześniak, A. (2002), Texture is a sensory property, *Food Quality and Preferences*, No. 13, pp. 215-225.

10. Барамбойм Н. К. Механохімія високомолекулярних соєденень : монографія / Н. К. Барамбойм. – М. : Хімія, 1978. – 358 с.

Baramboym, N. (1978), *Mechanochemistry macromolecular compounds: [Mekhanokhymiya vysokomolekuliarnykh soedeneniy]*, Chemistry, Moscow, 358 p.

11. Foegeding, E., Brown, J., Drake, M., Daubert, C. (2003), "Sensory and mechanical aspects of cheese texture", *Int. Dairy J.*, No. 13 (8), pp. 585-591.
12. Tamime, A. Y. (2011), *Processed Cheese and Analogues: An Overview*, Blackwell Publishing Ltd., P. 24.
13. Surówka, K. (2002), *Tekstura żywności i metody jej badania*, Przem. Spoż., No. 10, pp. 12-17.
14. Pavlyuk, R. (2015), "The development of technology of nanoextracts and nanopowders from herbal spices for healthful products", *Eastern-European Journal of enterprise technologies*, No. 3(10), pp. 12-17.
15. Pavlyuk, R. (2016), "The development of cryogenic method of deep treatment of inulin-containing vegetables (topinambour) and obtaining of prebiotics in the nanopowders form", *Eureka: Life Science*, No. 3, pp. 5-9.

Павлюк Раїса Юрївна, д-р техн. наук, проф., лауреат Державної премії України, заслужений діяч науки і техніки України, кафедра технологій переробки плодів, овочів і молока, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057)349-45-92; e-mail: ktrpom@mail.ru.

Павлюк Раиса Юрьевна, д-р техн. наук, проф., лауреат Государственной премии Украины, заслуженный деятель науки и техники Украины, кафедра технологий переработки плодов, овощей и молока, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. Тел.: (057)349-45-92; e-mail: ktrpom@mail.ru.

Pavljuk Raisa, doctor of technical sciences, professor, laureate of the State Prize of Ukraine, Honored Worker of Science and Technology of Ukraine, department of recycling technologies of fruits, vegetables and milk, Kharkov State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel.: (057)349-45-92; e-mail: ktrpom@mail.ru.

Погарська Вікторія Вадимівна, д-р техн. наук, проф., лауреат Державної премії України, кафедра технологій переробки плодів, овочів і молока, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057)349-45-92; e-mail: ktrpom@mail.ru.

Погарская Виктория Вадимовна, д-р техн. наук, проф., лауреат Государственной премии Украины, кафедра технологий переработки плодов, овощей и молока, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. Тел.: (057)349-45-92; e-mail: ktrpom@mail.ru.

Pogarska Viktoriya, doctor of technical sciences, professor, laureate of the State Prize of Ukraine, department of recycling technologies of fruits, vegetables and milk, Kharkov State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel.: (057)349-45-92; e-mail: ktrpom@mail.ru.

Юр'єва Ольга Олексіївна, канд. техн. наук, доц., кафедра технологій переробки плодів, овочів і молока, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057)349-45-92, e-mail: ktrpom@mail.ru.

Юрьева Ольга Алексеевна, канд. техн. наук, доц., кафедра технологій переробки плодів, овочей и молока, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. Тел.: (057)349-45-92, e-mail: ktrpom@mail.ru.

Yurieva Olga, candidate of technical sciences, associate professor, department of technology processing of fruits, vegetables and milk, Kharkov State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivskaya str., 333, Kharkov, Ukraine, 61051. Tel.: (057)349-45-92; e-mail: ktrpom@mail.ru.

Скрипка Лідія Іванівна, директор, спеціаліст вищої категорії, відмінник освіти України, Харківський коледж переробної та харчової промисловості ХНТУСХ ім. П. Василенко. Адреса: вул. Барикадна, 51, м. Харків, Україна, 61200. Тел.: (057)372-35-22; e-mail: kphphntusg@mail.ru.

Скрипка Лидия Ивановна, директор, специалист высшей категории, отличник образования Украины, Харьковский колледж перерабатывающей и пищевой промышленности ХНТУСХ им. П. Василенко. Адрес: ул. Баррикадная, 51, г. Харьков, Украина, 61200. Тел.: (057)372-35-22; e-mail: kphphntusg@mail.ru.

Skripka Lidia, director, specialist of the highest category, Excellent Education of Ukraine, Kharkov college processing and food industries KNUA P. Vasilenko, Barikadnaya str., 51, Kharkov, Ukraine, 61200. Tel.: (057)372-35-22; e-mail: kphphntusg@mail.ru.

Абрамова Тетяна Сергіївна, викладач вищої категорії, завідувач відділення харчових технологій, Харківський коледж переробної та харчової промисловості ХНТУСГ ім. П. Василенка, вул. Барикадна, 51, м. Харків, Україна, 61200. Тел.: (057)372-35-22; e-mail: kphphntusg@mail.ru.

Абрамова Татьяна Сергеевна, преподаватель высшей категории, заведующий отделением пищевых технологий, Харьковский колледж перерабатывающей и пищевой промышленности ХНТУСХ им. П. Василенко, ул. Баррикадная, 51, г. Харьков, Украина, 61200. Тел.: (057)372-35-22; e-mail: ktrpom@ukr.net.

Abramova Tatyana, teacher of highest category, head of department of food technologies, Kharkov college processing and food industries KNUA P. Vasilenko, Barikadnaya str., 51, Kharkov, Ukraine, 61200. Tel.: (057)372-35-22; e-mail: kphphntusg@mail.ru.

Максимова Надія Пилипівна, доц., кафедра технологій переробки плодів, овочів і молока, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057) 349-45-92; e-mail: ktrpom@mail.ru.

Максимова Надежда Филлиповна, доц., кафедра технологій переробки плодів, овочей і молока, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. Тел.: (057)349-45-92; e-mail: ktrpom@mail.ru.

Maximova Nadegda, associate professor, department of Technology processing of fruits, vegetables and milk, Kharkov State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivskaya str., 333, Kharkov, Ukraine, 61051. Tel.: (057)349-45-92; e-mail: ktrpom@mail.ru.

Рекомендовано до публікації д-ром техн. наук, проф. Ф.В. Перцевим.

Отримано 15.10.2016. ХДУХТ, Харків.

УДК 621.59: 613.229:547.455.65

ВПЛИВ ЗАМОРОЖУВАННЯ ТА НЕФЕРМЕНТАТИВНОГО КАТАЛІЗУ НА РУЙНУВАННЯ ГЕТЕРОПОЛІСАХАРИД-БІЛКОВИХ НАНОКОМПЛЕКСІВ ПІД ЧАС ПЕРЕРОБКИ ТОПНАМБУРА

Р.Ю. Павлюк, В.В. Погарська, К.С. Балабай, В.А. Павлюк

Вивчено вплив заморожування та неферментативного каталізу на руйнування важкорозчинних гетерополісахарид-білкових нанокмплексів і трансформацію їх в розчинну форму під час глибокої переробки топінамбура і отримання дрібнодисперсних добавок. Виявлено, що 45...55% нанокмплексів гетерополісахаридів із білками руйнується до їх окремих мономерів, які знаходяться в наноформі в розмірному діапазоні від 0,5 до 1,5 нанометрів.

Ключові слова: заморожування, неферментативний каталіз, гетерополісахарид-білкові нанокмплекси, дрібнодисперсні добавки, топінамбур, глибока переробка.

ВЛИЯНИЕ ЗАМОРАЖИВАНИЯ И НЕФЕРМЕНТАТИВНОГО КАТАЛИЗА НА РАЗРУШЕНИЕ ГЕТЕРОПОЛИСАХАРИД-БЕЛКОВЫХ НАНОКОМПЛЕКСОВ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ТОПИНАМБУРА

Р.Ю. Павлюк, В.В. Погарская, Е.С. Балабай, В.А. Павлюк

Изучено влияние замораживания и неферментативного катализа на разрушение труднорастворимых гетерополисахарид-белковых нанокмплексов

© Павлюк Р.Ю., Погарська В.В., Балабай К.С., Павлюк В.А., 2016