

УДК 001.8:620.2.003.121.: 663.05:664.346

DOI: 10.15587/1729-4061.2016.81415

Вивчено комплексний вплив процесів неферментативного каталізу – криомеханолізу і заморожування сичужових сирів при підготовці до плавлення, який призводить до криодеструкції важкорозчинних параказеїнаткальційфосфатний наноконкомплексів в розчинну форму. Установлено, що відбувається їх криодеструкція і трансформація в наноформу (на 55...60 %). Розроблено технологію оздоровчих плавлених сирних виробів. Розкрито механізми процесів заморожування та неферментативного каталізу

Ключові слова: неферментативний катализ, механолиз, заморожування, низькотемпературне подрібнення, твердий сичужовий сир, наноконкомплекси, плавлені сирні вироби

Изучено комплексное влияние процессов неферментативного катализа – криомеханолиза и замораживания сычужных сыров при подготовке к плавлению, которое приводит к деструкции труднорастворимых параказеинаткальцийфосфатных наноконкомплексов в растворимую форму. Установлено, что происходит их криодеструкция и трансформация в наноформу (на 55...60 %). Разработана нанотехнология оздоровительных плавлених сырных изделий. Раскрыты механизмы процессов замораживания и неферментативного катализа

Ключевые слова: неферментативный катализ, механолиз, замораживание, низкотемпературное измельчение, твердый сычужный сыр, наноконкомплексы, плавленные сырные изделия

ТЕХНОЛОГІЯ ОЗДОРОВЧИХ ПЛАВЛЕНИХ СИРНИХ ВИРОБІВ БЕЗ СОЛЕЙ-ПЛАВИЛЬНИКІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ЗАМОРОЖУВАННЯ І НЕФЕРМЕНТАТИВНОГО КАТАЛІЗУ

Р. Ю. Павлюк

Доктор технічних наук, професор, лауреат Державної премії України, заслужений діяч науки і техніки України*

E-mail: ktprom@ukr.net

В. В. Погарська

Доктор технічних наук, професор, лауреат Державної премії України*

E-mail: viktoria.pogarskaya@ukr.net

О. О. Юр'єва

Кандидат технічних наук, доцент*

Л. І. Скрипка

Директор, спеціаліст вищої категорії**

Т. С. Абрамова

Викладач вищої категорії, завідувач відділення

Відділення харчових технологій**

*Кафедра технологій переробки плодів, овочів і молока Харківський державний університет харчування та торгівлі вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051

**Харківський коледж переробної та харчової промисловості ХНТУСГ ім. П. Василенка вул. Барикадна, 51, м. Харків, Україна, 61200

1. Вступ

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 залежить 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 необ-

хідності збільшення в раціонах харчування основних продуктів та кількості БАР.

Крім того, сьогодні в світі існує ще одна важлива глобальна проблема, яка призводить до погіршення здоров'я у населення на яку варто звернути увагу. Вона пов'язана із зниженням якості харчових продуктів та використанням при їх виготовленні синтетичних компонентів. Аналіз даних періодичної літератури показав, що в останні 10–15 років в міжнародній практиці для суттєвого здешевлення продукції та збільшення власних прибутків більшість підприємств харчової промисловості стали широко використовувати різні види штучно створених харчових добавок (барвників, посилювачів смаку, підсолоджувачів, загусників, консервантів та ін.) [1, 3]. Існує також і другий спосіб

зниження дефіциту продуктів харчування, що на даний час використовуються на міжнародному ринку. Це розробка та використання в раціонах харчування штучно створених харчових продуктів, асортимент яких з кожним роком швидко зростає. На сьогоднішній день 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]. Їх застосування дає змогу отримати широкий асортимент, на перший погляд, традиційних продуктів, для виробництва яких можна застосовувати нестандартну, або в меншій кількості сировину рослинного, тваринного походження, або її замітники. Протягом останніх 10–15 років широке розповсюдження знайшов другий спосіб. З'явилась, так звана, порошоква індустрія і на сьогоднішній день виробництво м'ясних, молочних продуктів, хлібобулочних, кондитерських виробів, соків, напоїв та ряду інших харчових продуктів вже неможливо уявити без застосування харчових добавок, сумішей та заміників. За підрахунками вчених США, щорічне вживання населенням країни з продуктами харчування різних видів харчових добавок в середньому становить біля 2,5 кг [1, 2].

Недоліком застосування штучно створених продуктів та продуктів отриманих із застосуванням штучних добавок є низька засвоюваність та негативний вплив на здоров'я людей. Встановлено, що щоденне вживання готових продуктів промислового виробництва, отриманих із застосуванням певних видів харчових добавок та штучних компонентів може викликати алергію [1, 2]. Проте, порошоква індустрія та виробництво штучно створених продуктів за рахунок незначної вартості таких продуктів з кожним роком отримує в світі все більше розповсюдження. Над розробкою новітніх та над удосконаленням традиційних технологій виробництва продуктів із застосуванням харчових добавок та штучних компонентів працюють технологи – практики та науковці. В різних країнах світу існують певні верстви населення, які віддають перевагу таким штучно створеним продуктам оскільки їх вартість значно нижча вартості натуральних продуктів.

В харчовій галузі найбільш розвинених країнах світу, таких як Японія, США, Англія, Німеччина, Франція та ін. паралельно з виробництвом зазначеними способами дешевої продукції з'явився напрям виробництва продуктів оздоровчої дії. Вони відрізняються від традиційних за вмістом натуральних БАР, 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 та синтетичних компонентів при їх виробництві та отримати продукти високої якості.

До числа продуктів оздоровчої дії можна віднести комбіновані молочно – рослинні продукти, включаючи плавлені сири, збагачені натуральними рослинними добавками. Традиційні технології виробництва плавлених сирів включають необхідність застосування харчових добавок – солей-плавильників при підготовці подрібненої маси сичугових сирів до плавлення. В зв'язку з цим актуальним є пошук технологічних прийомів, що дають змогу повністю виключити необхідність застосування солей-плавильників в техно-

логії отримання плавлених сирів з використанням в якості основної сировини твердих сичугових сирів.

Відомо, що плавлені сири користуються великою популярністю у населення всіх країн світу. Це пов'язано з їх високими смаковими властивостями, харчовою цінністю і 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 при їх виготовленні з використанням як сировини сичугових сирів пов'язані з тим, що до їх складу входять складні важкорозчинні ліпідопротеїнові кальційфосфатні комплекси (ЛПККФК). В них ліпіди і 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 і розчиненню при плавленні сирів і отриманні однорідної текучої маси [3, 6, 7]. Тому однією з основних технологічних операцій в технології плавлених сирів є розм'якшення сирів і отримання однорідної текучої маси при нагріванні в присутності солей – плавильників. При цьому одночасно відбувається пептизація і пастеризація продукту. Традиційно при виготовленні плавлених сирів для збільшення пептизації ЛПККФК, розм'якшення і 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 з цим актуальним є пошук технологічних прийомів, які б дозволили значно зменшити кількість солей-плавильників при виготовленні плавлених сирів [5, 10]. Наукові дослідження, які відображені в даній статті направлені на пошук саме таких технологічних прийомів. Автори запропонували використовувати в якості інновації комплексну дію на сировину (тверді сичугові сири) заморожування та дрібнодисперсного подрібнення. Останні супроводжуються процесами дезагрегації, криодеструкції, механоактивації, кріомеханохімії і руйнування важкорозчинних ліпідопротеїнових нанокомплексів 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 при отриманні плавлених сирних виробів при використанні в якості основного компонента сичугових сирів.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Під кріомеханодеструкцією автори роботи розуміють новий технологічний прийом, що включає дію на сировину заморожування та дрібнодисперсного механічного подрібнення, що призводить до дезагрегації, руйнування, криодеструкції нанокомплексів та наноасоціатів важкорозчинних речовин, які в них знаходяться. В результаті відбувається більш пов-

не вилучення із сировини цінних компонентів. Значений технологічний прийом, на думку авторів, є альтернативою ферментативній обробці харчової сировини. Слід зазначити, що застосування процесів механодеструкції та кріомеханодеструкції уже сьогодні знайшло свою реалізацію в таких галузях промисловості, як хімічна, металургійна, текстильна, авіаційна та ін. в 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 водотої брудовідштовхуючими властивостями та ін. У харчовій промисловості, як в Україні, так і в міжнародній практиці ці процеси майже не вивчені [13–16].

В даний час в світі в різних галузях промисловості спостерігається буквально «бум» по створенню нанотехнологій, в тому числі харчових. Пояснюється це тим, що з'явилась можливість цілеспрямованого отримання дисперсних систем з частинками в нанодіапазоні (1...100 нм), контролювати їх будову і фракційний склад, що дає можливість проводити дослідження та розробки на молекулярному, атомарному, мікромолекулярному рівні. Це дозволяє отримати матеріали, системи, структури та ін. 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. Наглядним прикладом може слугувати желатин, який розчиняється після набухання в гарячій воді через декілька годин, а ось дрібнодисперсноподрібнений (в нанометровому діапазоні) – розчиняється в холодній воді (при температурі +18...+20 °C) протягом хвилини. Подібних прикладів можна навести багато. Суть процесів які відбуваються в об'єктах, які знаходяться в нанорозмірній формі неможливо описати використовуючи відомі сучасній науці закономірності. Тут необхідні глибокі фундаментальні дослідження.

Авторами протягом 30 років вивчалось застосування кріогенного подрібнення і процесів механоактивації, кріомеханодеструкції (без застосування холоду) і заморожування в харчовій промисловості. Зокрема, авторами отриманні дрібнодисперсні нанопорошки і гомогенні пасти із фруктів, ягід, овочів, лікарської і пряно-ароматичної рослинної сировини, продуктів бджільництва [17, 18]. Вперше у світовій практиці при переробці різної сировини були виявлені нові явища і ефекти, розкриті їх механізми. Показано, що процеси кріомеханодеструкції, механоактивації, заморожування і кріомеханохімії призводять до істотної деструкції і дезагрегації біологічних наноконкомплексів – біополімер-БАР і вивільненню БАР із скритих і неактивних форм [19]. 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 і кращого засвоєння організмом людини [3, 17].

Аналіз періодичної літератури за останні 10 років показав, що вченими було виявлено, значний вплив кріогенного подрібнення желатину який призводить до істотної зміни його вихідних властивостей і розчинення при кімнатній температурі [17]. Виявлено

також, що використання процесів дрібнодисперсного механічного подрібнення при отриманні полімерів пластмас, каучука та ін. призводило до зниження їх молекулярної маси, появи нових функціональних груп і ланок, до зміни їх розчинності [3, 13]. У зв'язку з цим можна було припустити, що використання процесів заморожування і кріомеханодеструкції призведе до деструкції, дезагрегації, механолізу і пептизації складних комплексів ЛПККФК твердих сичугових сирів. Це буде сприяти їх кращому плавленню із зменшеною кількістю солей-плавильників або без них. В молочній промисловості йде безперервний пошук технологічних прийомів, направлених на зменшення кількості солей-плавильників при виробництві плавлених сирів. Провідними вченими України та Росії вдалося їх кількість зменшити всього на 20 % [3, 5, 10–12].

Таким чином, аналіз літературних джерел показав, що роботи по плавленню сиром, в основному, присвячені збагаченню їх різними харчовими добавками [17–19]. Але асортимент продукції плавлених сирів, який сьогодні існує на ринку так і харчові добавки, які використовують при їх виготовленні відрізняються низьким вмістом БАР [5].

В зв'язку з цим перспективним є вивчення впливу процесів глибокої переробки, зокрема заморожування та дрібнодисперсного подрібнення при підготовці сичугових сирів до плавлення. Мета – отримання плавлених сирних виробів високої якості без використання солей-плавильників. Зокрема, представляють інтерес дослідження впливу комплексної дії заморожування і дрібнодисперсного подрібнення на кріодеструкцію ліпідопротеїнових наноконкомплексів і наноасоціатів. Доцільним є дослідження руйнування білків, трансформації зв'язаних α -амінокислот у вільну форму, конформаційні зміни молекул білку та ін. Актуальним є розробка нанотехнології плавлених сирних виробів без використання солей-плавильників і збагачення різними рослинними біологічно активними речовинами, які мають імуномодулюючу, детоксикуючу та антиокислювальну дію.

Отримані напівфабрикати плавлених сирів для оздоровчого харчування, які отримані без солей-плавильників, авторами були використані при виготовленні сирних начинок для «ПанКейків», круасанів, закусок, соусів-дресингів, соусів-дипів, оригінальних закусок – фалафелів і т. п.

3. Мета і задачі досліджень

Метою роботи – вивчення впливу процесів заморожування, механоактивації та неферментативного каталізу на руйнування важкорозчинних ліпідопротеїнових наноконкомплексів твердих сичугових сирів без солей-плавильників при розробці нанотехнології оздоровчих плавлених сирних виробів.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні задачі:

- вивчити закономірності та механізми впливу заморожування та неферментативного каталізу – механолізу на більш повне вилучення скритих форм білку із важкорозчинних ліпідопротеїнових наноконкомплексів твердих сичугових сирів;
- вивчити вплив комплексної дії на сировину неферментативного каталізу і заморожування на ме-

ханоліз (руйнування) білку та конформаційні зміни молекул білку твердого сичугового сиру;

– розробити нанотехнології оздоровчих плавлених сирних виробів без солей-плавильників на основі твердих сичугових сирів з використанням якості інновації процесів заморожування і неферментативного каталізу та натуральних рослинних збагачуючих добавок;

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

4. Матеріали та методи досліджень

4.1. Матеріали та обладнання, що використовували під час експериментальних досліджень

Дослідження проводили з використанням твердого сичугового сиру, нанопорошків із натуральних прянощів (перцю духмяного, перцю чорного горощку, коріандру), прямих (імбиру, часнику) та каротиноїдних (морква, паприка) овочів (рис. 1). Крім того, вивчали плавлену сирну масу після криообробки (або сирний напівфабрикат) та нові оздоровчі плавлені сирні продукти в формі начинок для кондитерських виробів «ПанКейк», отриманих за нанотехнологією та сирні закуски – фалафелі (рис. 2).



Рис. 1. Об'єкти досліджень: *a, б* – зразки твердого сичугового сиру «Російський»; *в-р* – нанопорошки, прянощі, пряні та каротиноїдні овочі (*в* – перець духмяний; *г* – нанопорошок із перцю духмяного; *д* – перець чорний горощок; *е* – нанопорошок із перцю чорного горощку; *ж* – коріандр; *з* – нанопорошок із коріандру; *і* – імбир; *к* – нанопорошок із імбиру; *л* – часник; *м* – нанопорошок із часнику; *н* – морква; *о* – нанопорошок із моркви; *п* – паприка; *р* – нанопорошок із паприки

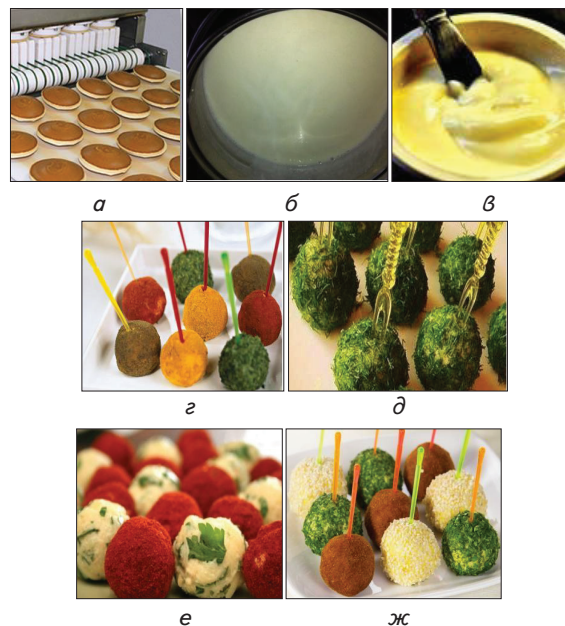


Рис. 2. Продукти з плавленого сиру: *a* – кондитерські вироби «ПанКейк» з новою сирною начинкою, розробленою авторами; *б, в* – пастоподібний плавлений сир (напівфабрикат для начинок, фалафелів, соусів-дресингів, соусів-дипів та ін.); *г-ж* – сирні закуски фалафелі (*г* – «Ассорті»; *д* – «Смарагд»; *е* – «Пікантні»; *ж* – «Екзотік»

З методикою підготовки проб більш детально можна ознайомитись в роботі [20].

4.2. Методики визначення показників досліджуваних зразків

В якості критеріїв оцінки якості сичугових сирів (вихідного) та подрібненого використовували наступні показники: білок (по загальному азоту), вільні та зв'язані амінокислоти, гідрофільні і гідрофобні залишки амінокислот, жир, сухі речовини, волога, органічні кислоти та мінеральні речовини. Детально методики описані в статті [21]. З методикою визначення показників досліджуваних зразків більш детально можна ознайомитись в роботі [20].

5. Дослідження по розробці технології оздоровчих плавлених сирних виробів без солей-плавильників

Головним при розробці нанотехнологій оздоровчих сирних виробів з використанням заморожування і неферментативного каталізу – криомеханолізу та твердих сичугових сирів було максимально зменшити кількість солей-плавильників при підготовці твердих сичугових сирів (ТСС) до плавлення, а також зруйнувати важкорозчинні ліпідопротейнові наноконкомплекси та наноасоціати, вилучити білок із зв'язаного стану, провести пептизацію та здійснити процес плавлення з мінімальною кількістю солей-плавильників або без них. Це виявляється можливим при використанні низь-

котемпературного дрібнодисперсного подрібнення та заморожування, що супроводжуються процесами криодеструкції та неферментативного каталізу.

Отримані оздоровчі плавлені сирні вироби у порівнянні з традиційними виробами не містять шкідливі для організму людини солі-плавильники, шкідливість яких для організму людини полягає в утворенні захворювань нирок, жовчної системи, суглобів, алергій, тощо. Отримані сирні наноапівфабрикати (або основи) із сичугових сирів в формі гомогенізованої еластичної маси в порівнянні з традиційним є більш технологічним. Вони краще розчиняються та диспергуються і емульгуються у воді та жирних і овочевих дисперсних системах і утворюють однорідну гомогенну стабільну гелієву структуру.

В якості основи при виготовленні 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±1,5 % і 28,8±1,2 % відповідно у співвідношенні 1:1) та відрізняється високим вмістом мінеральних речовин (4 %).

Показано, білки сичугового сиру представлені зв'язаними і вільними амінокислотами (табл. 2). Так, сумарна кількість α -амінокислот в сичуговому сирі складає – 29,7 г в 100 г, із них вільні амінокислоти складають 25...26 % від загальної кількості α -амінокислот (відповідно 6,2 г в 100 г і 23,4 г в 100 г), зв'язані амінокислоти – 74...75 %. Показано, що твердий сичуговий сир містить всі незамінні α -амінокислоти (лізін, триптофан, треонін, валін, метіонін, ізолейцин, лейцин, фенілаланін), які згідно зі шкалою ФАО/ВОЗ знаходяться в збалансованому стані.

Встановлено, що при обробці твердих сичугових сирів перед процесом плавлення з використанням заморожування і дрібнодисперсного подрібнення відбувається руйнування важкорозчинних ліпидопротейнових нанокомплексів і наноасоціатів і вивільнення (екстрагування) білку 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. 3).

Так, наприклад у вихідному сичуговому сирі міститься зв'язаних амінокислот 23,4 г, а у замороженому та дрібнодисперсно подрібненому – 31,3 г в 100 г. Установлено механізм цього процесу, який пов'язаний з криомеханокрекінгом, механодеструкцією (руйнуванням) зв'язків між ліпідами та білком. Цей процес руйнування нанокомплексів наноасоціатів біополімерів пов'язаний з неферментативним каталізом (руйнуванням), криодеструкцією та криомеханолізом. Це свідчить про те, що білок вивільнився із зв'язаного з нанокомплексами стану у вільний. На думку авторів, нанокомплекс та наноасоціати є складними важкорозчинними ліпидопротейнкальційфосфатними комплексами (ЛПКФК). В них ліпіди і 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 і розчиненню при плавленні сирів і отриманні однорідної текучої маси [3, 6, 7]. Тому однією з основних технологічних операцій в технології плавлених сирів є розм'якшення сирів і отримання однорідної текучої маси при нагріванні в присутності солей – плавильників. При цьому одночасно відбувається пептизація і пастеризація продукту.

Таблиця 1

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

Назва амінокислоти	Зв'язані амінокислоти твердого сичугового сиру				Вільні амінокислоти твердого сичугового сиру			
	у вихідному сирі, мг в 100 г	після механолізу і заморожування, мг в 100 г	% до вихідного	збільшення до вихідного, раз	у вихідному сирі, мг в 100 г	після механолізу і заморожування, мг в 100 г	% до вихідного	збільшення до вихідного, раз
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
Лізін	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
Гліцин	410	560	137,0	1,4	70	140	200,0	2,0
Глутамінова 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
Серін	1100	1840	167,0	1,7	310	370	119,0	1,2
Тирозін	2210	1630	73,7	–	240	340	142,0	1,4
Цистін	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

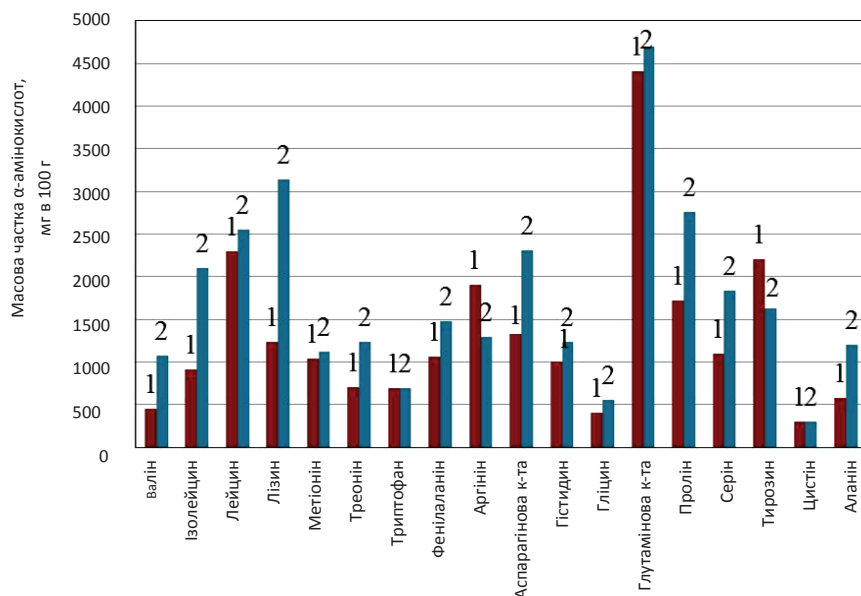


Рис. 3. Вплив заморожування та неферментативного каталізу – кріомеханолізу на руйнування ліпідопараказеїнаткальційфосфатних наноконкомплексів і наноасоціатів і вивільнення білку із зв'язаного стану з ліпідами у вільний (по кількості зв'язаних α -амінокислот в молекулах білку) у вихідному сичуговому сири (1 – ■) в порівнянні з замороженим та дрібнодисперсно подрібненим (2 – ■)

Встановлено також, що при указаній обробці сичугових сирів відбувається неферментативний кріокаталіз (руйнування) білків до мономерів вільних α -амінокислот на 55–60 % (табл. 1, рис. 4). Встановлено, що при кріомеханолізі і заморожуванні частина α -амінокислот із зв'язаного стану трансформується у вільну форму. Так, масова частка вільних α -амінокислот в заморожених дрібнодисперсних пастоподібних сирах збільшувалась в 1,1...2,9 рази (до їх кількості у вихідному твердому сичуговому сири до низькотемпературного подрібнення).

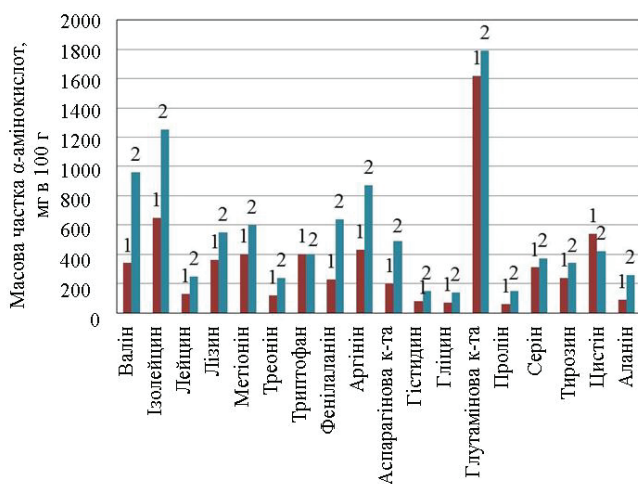


Рис. 4. Вплив заморожування та неферментативного каталізу – кріомеханолізу на кріодеструкцію – руйнування білку сичугових сирів (1 – ■) до окремих мономерів (α -амінокислот) і трансформацію їх у вільну форму при підготовці їх до плавлення, пептизації та пастеризації і виготовлення сирних виробів без солей-плавильників (2 – ■)

Показано, що найбільше збільшення масової частки амінокислот становить 2,8...2,9 раз і спостерігається для таких α -амінокислот, як аланін, валін, фенілаланін. Для проліна і аспарагінової кислоти збільшення становить 2,5 рази 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 цистіну.

Показано, що кріомеханоліз і заморожування твердих сичугових сирів суттєво інтенсифікує процес руйнування білково-ліпідних комплексів і сприяє механічному руйнуванню (механолізу) білків до окремих вільних амінокислот. Механізм цього процесу пов'язаний з тим, що при механічному подрібненні в результаті механокрекінга 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. Різна ступінь збільшення масової частки різних видів α -амінокислот при кріомеханолізі білка пов'язана із специфічністю амінокислотного складу білків твердих сичугових сирів.

Вивчення процесів механолізу і заморожування, які відбуваються при кріогенному «шоковому» заморожуванні та низькотемпературному подрібненні, свідчить про те, що комплексна дія заморожування та механічного подрібнення призводить до руйнування біополімерів білку 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 знаходяться в нанорозмірній формі. В зв'язку з цим, можна було припустити, що зазначені технологічні прийоми можуть викликати конформаційні зміни молекул, стирання молекул, зміни їх об'єму, форми, зменшення молекулярної маси. Відомо, що колоїдні властивості білків, їх здатність утворювати гелі залежить від гідрофільних властивостей залишків амінокислот, що входять до їх складу. Це має принципове значення для плавлення, пептизації головного слабкорозчинного білку твердого сичугового сиру – параказеїну [3, 10–12, 14].

У завдання роботи входило вивчення впливу заморожування і кріомеханодеструкції твердого сичужного 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 розділити на неполярні і полярні. Органічні сполуки, які містять полярні групи, добре розчиняються у воді,

здатні вступати в диполь – дипольну взаємодію з молекулами води і утворювати з ними водневі зв'язки, є гідрофільними. Аналіз даних літератури показав, що в основі білок – білкового комплексоутворення, а також комплексоутворення з 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 в воді гнучка молекула білка згортається в глобулу. При цьому утворюється компактне тіло – кулька з гідрофобним ядром і гідрофільною поверхнею.

Вивчено вплив заморожування і криомеханодеструкції на вміст в молекулах білка твердого сичуго-

вого сиру гідрофільних і гідрофобних залишків амінокислот (табл. 2).

Показано, що при заморожуванні і криомеханодеструкції 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_{nn}) і зменшення співвідношення між ними (C_n/C_{nn}).

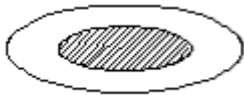
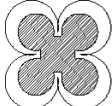
Встановлено, що в порівнянні з вихідною сировиною при заморожуванні і низькотемпературному подрібненні масова частка гідрофільних залишків амінокислот в 100 г білка зменшується на 6,3 % і паралельно збільшується масова частка гідрофобних залишків на 5,3 % (табл. 3).

Таблиця 2

Вплив криомеханолізу і заморожування твердого сичугового сиру на вміст в молекулах білку гідрофільних і гідрофобних залишків амінокислот

Амінокислота	Масова частка зв'язаних амінокислот білку, %		Ступінь гідрофобності, ΔF кДж/моль	Ступінь гідрофобності зв'язаних амінокислот білку (ΔF, кДж/моль)	
	вихідний твердий сичуговий сир	твердий сичуговий сир після криомеханолізу і заморожування		вихідний твердий сичуговий сир	твердий сичуговий сир після криомеханолізу і 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
Цистін	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	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
Гідрофобні і гідрофобні залишки амінокислот					
Сума	100,0	100,0		627,61	624,57

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

Показники	Твердий сичуговий сир	
	вихідний	після обробки
Вміст полярних залишків амінокислот, C_p	45,92	43,03
Вміст неполярних залишків амінокислот, C_{np}	54,08	56,97
Співвідношення C_p/C_{np}	0,85	0,76
Радіус молекули, r_0 , 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 і гідрофобними залишками з 0,85 до 0,76. Отримані результати дали можливість провести порівняння розміру і форми білкових молекул твердого сичугового сиру вихідного і після заморожування і низькотемпературного подрібнення відповідно до теорії Є. Г. Фішера (табл. 3).

Встановлено, що заморожування і 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 і заморожування зростає на 9,2 % становить $0,2265 \cdot 10^{-2}$ мкм (в порівнянні з $0,2474 \cdot 10^{-2}$ мкм в вихідному твердому сичуговому сиру). Її об'єм збільшується в 2 рази і складає $0,08 \cdot 10^{-6}$ мкм³ (в порівнянні з $0,04 \cdot 10^{-6}$ мкм³ у вихідному сиру). Співвідношення суми гідрофільних та гідрофобних залишків амінокислот вихідних сичугових сирів до кріогенної обробки та дрібнодисперсного подрібнення сиру відповідно складає 0,85 і 0,76. При цьому збільшується в 1,1 рази радіус ядра молекули і одночасно в 2 рази зменшується показник заповнення ядра гідрофобними залишками.

Відповідно до теорії Є. Г. Фішера встановлено, що молекули вихідного твердого сичугового сиру мають вигляд еліпсоїдів, а після кріомеханолізу і заморожування набувають вигляду надмолекулярних структур (табл. 3). Це сприяє збільшенню доступності, розчинності, пептизації білкових молекул при підготовці твердих сичугових сирів до плавлення і отримання однорідної текучої гелісової текстури сирної маси.

На основі експериментальних досліджень розроблено нанотехнологію плавлених сирних виробів з використанням сичугових сирів, яка виключає солі-плавильники і від традиційних відрізняється використанням заморожування до температури $-18\text{ }^\circ\text{C}$ та дрібнодисперсного подрібнення при температурі не менше $-10\text{ }^\circ\text{C}$

до розміру частинок, які в декілька разів менше ніж при традиційному подрібненні. Технологія також включає процес пастеризації (при температурі $70...75\text{ }^\circ\text{C}$) і плавлення (без солей-плавильників) та гомогенізацію. Збагачення сирних виробів передбачає введення натуральних рослинних каротиноїдних добавок в формі нанопорошку (із моркви або гарбузу), нанопорошку із часнику, а також нанопорошків, наноекстрактів із натуральних прянощів (перцю чорного горошку, перцю духмяного, коріандру та ін.). Крім того, технологія передбачає фасування і упаковку в газовологосвітло-непроникну упаковку або посадку готової начинки на кондитерський млинець «ПанКейк» (рис. 5).



Рис. 5. Принципова технологічна схема виробництва сирних плавлених продуктів з використанням заморожування, дрібнодисперсного подрібнення та нанопорошків із прянощів, прямих та каротинвмісних овочів

Введення перерахованих рослинних добавок з 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 в 2,5–3,0 рази більше ніж без їх використання.

В якості аналогів були виготовлені модельні системи із сичугових сирів з використанням для плавлення різну дозу солей – плавильників, які прийнято використовували в традиційних технологіях виготовлення плавлених сирів (0,5 %; 1,0 %; 1,5 %; 2,0 %). Установлено, що комплексне використання заморожування і кріомеханодеструкції дозволяє повністю виключити, а не зменшити кількість солей-плавильників.

Розроблено технології і рецептури оздоровчих плавлених сирних виробів з використаних в якості сировини тверді сичугові сири та інновації – процесів його заморожування та неферментативного каталізу при підготовці їх до плавлення. Це такі вироби: сирні начинки для кондитерських виробів «ПанКейк», пастоподібні плавлені сири, сирні соуси-дресинги і сирні соуси-дипи. Технологія сирних начинок для кондитерських виробів «ПанКейк» впроваджена в серійне виробництво на підприємстві ТОВ ПКГ «Лісна казка», м. Харків (рис. 7).



Рис. 6. Ділянка технологічної лінії виробництва кондитерських виробів «ПанКейк» з сирною начинкою (промислове виробництво на ТОВ ПКГ «Лісна казка», м. Харків)

Розроблено чотири рецептури сирних начинок для кондитерських виробів «ПанКейк» збагачені рослинними нанодобавками: «Сирна з часником», «Сирна з часником і беконом», «Сирна з грибами», «Сирна з овочами». Вони відрізняються видом і кількістю внесених нанопорошків із моркви або гарбузу (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 із моркви, гарбузу, пряних овочів та натуральних прянощів розроблені авторами статті. Нанопорошки – це дрібнодисперсні порошки в нано-

розмірній 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. знаходиться в інтервалі від 0,5 до 1,5 нм. Частина біополімерів та наноконкомплексів знаходиться в важкорозчинному стані. Розмір молекул біополімерів та наноконкомплексів знаходиться в діапазоні від 50 нм до 5...10 мкм. Вивчено якість нових сирних начинок за вмістом БАР та фізико-хімічними показниками (табл. 6).

Таблиця 4

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

Найменування показника	Плавлені сирні начинки збагачені рослинними наноструктурованими добавками і виготовлені за нанотехнологією			
	«Сирна з часником»	«Сирна з часником і беконом»	«Сирна з грибами»	«Сирна з овочами»
Білок, %	28,7	26,6	24,6	22,5
Незамінні амінокислоти, мг в 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 в 100 г	3,0	3,1	3,5	3,2
фенольні сполуки (за хлорогеновою кислотою), мг в 100 г	25,1	27,8	26,4	25,8
флавонолові глікозиди (за рутинном), мг в 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 в 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

Показано, що нові види сирних начинок відрізняються високим вмістом БАР, в тому числі тих, що мають антиоксидантні властивості (табл. 4). 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, дубиль-

них речовин – 33,8...61,1 мг, β -каротину – 3,0...3,5 мг. У контролі – плавленій сирно-овочевій начинці без збагачуючих добавок перераховані БАР відсутні. При вивченні 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 імуномодуючими та антиоксидантними властивостями, а саме $\frac{1}{2}$ добової потреби в β -каротині і добова норма в 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 ряді 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»).

6. Обговорення результатів дослідження при розробці нанотехнології оздоровчих плавлених сирних виробів без солей-плавильників

Досліджено вплив кріомеханолізу і заморожування на амінокислотний склад твердого сичугового сиру при підготовці до плавлення, вміст α -амінокислот у вільному та зв'язаному стані, конформаційні зміни білкової молекули, які у вихідному сирі знаходяться в важкорозчинній формі, при розробці нанотехнологій оздоровчих плавлених сирних виробів.

Перевагами даного дослідження є те, що в даній роботі вперше показано, що внаслідок комплексного використання кріомеханолізу і заморожування сичугових сирів перед плавленням відбувається руйнування, деструкція, дезагрегація наноконкомплексів і біополімерів і вивільнення білку із прихованої зв'язаної форми у вільну. Крім того, виявлено новий ефект від впливу процесів кріомеханолізу і заморожування, який заключається в тому, що при кріогенному «шоковому» заморожуванні і низькотемпературному подрібненні твердого сичугового сиру при отриманні оздоровчих плавлених сирних виробів відбувається більш повне вилучення білку із ліпидопротеїнових наноконкомплексів (на 30...35 %), збільшення доступності, пептизація, руйнування білку до окремих мономерів (на 50...55 % більше ніж у вихідному стані). Крім того, відбувається утворення надмолекулярних структур при підготовці твердого сичугового сиру до плавлення та отримання однорідної гелієвої сирної маси при плавленні без солей-плавильників.

Це дає змогу отримати оздоровчі плавлені сирні вироби на основі твердого сичугового сиру з принципово новим хімічним складом і високими споживчими властивостями без солей-плавильників і більш високою засвоюваністю організмом людини. В свою чергу вони можуть бути використані при розробці функціональних оздоровчих продуктів масового харчування на основі твердого сичугового сиру харчування, таких як: закуски, начинки, соуси тощо.

До недоліків плавлених сирних виробів та особливостей переробки твердого сичугового сиру в них можна віднести наявність в даній сировині слабкорозчинних параказеїнаткальційфосфатних комплексів, в яких поліпептидні ланцюги міцно переплетені між собою за допомогою кальцієвих містків, дисульфідних, фосфоамідних та інших зв'язків, що перешкоджає пептизації і розчиненню білків та отримання однорідної текучої сирної маси під час плавлення. Крім того, пептизацію білків уповільнює високий вміст в сичугових сирах ліпідів, які з білками утворюють складні ліпидо-протеїнові кальційфосфатні комплекси, в яких білок знаходиться в скритій прихованій формі (на 30...35 %).

В даному дослідженні за допомогою застосування таких технологічних прийомів, як кріогенне «шокове» заморожування в продукті та низькотемпературного дрібнодисперсного подрібнення, цю проблему вдалося вирішити. Крім того, внесення рослинних збагачуючих добавок із натуральних прянощів та прямих овочів із значною кількістю БАР з імуномодуючими та антиоксидантними властивостями дозволило отримати плавлені сирні начинки, 100 г яких містить $\frac{1}{2}$ добової потреби в β -каротині та добову норму в фенольних сполуках. Внесення наноекстрактів із натуральних прянощів та нанопорошків із прянощів та прямих овочів дало можливість збільшити термін зберігання плавлених сирних начинок в 2 рази в порівнянні з традиційними виробами. Аналіз хімічного складу дозволяє віднести нові плавлені сирні вироби до оздоровчих продуктів харчування.

Проте, в подальшому планується також пошук і інших способів активації, дезагрегації неактивних прихованих форм наноконкомплексів біополімерів твердих сичугових сирів при підготовці до плавлення, а саме шляхом регулювання рН середовища, збагачення різними натуральними рослинними добавками з високим вмістом БАР та ін.

7. Висновки

1. Встановлено, що при комплексній дії на тверді сичугові сири заморожування та дрібнодисперсного подрібнення відбувається руйнування важкорозчинних ліпидопротеїнових наноконкомплексів і вивільнення білку 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 і білком та неферментативним каталізом.

2. Встановлено, що при заморожуванні та дрібнодисперсному подрібненні 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 з кріомеханокрекінгом молекул білку за рахунок руйнування пептидних зв'язків в білку до окремих α -амінокислот і їх трансформації у вільну форму.

3. 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 і білком та неферментативним каталізом білку до окремих α -амінокислот.

4. Встановлено, що розроблені за нанотехнологією сирні начинки для кондитерських виробів «ПанКейк» збагачені рослинними добавками за хімічним скла-

дом перевищують відомі аналоги та відрізняються збільшеним в 2 рази терміном зберігання. Крім того, значна частина речовин (як БАП, так і біополімерів) в сирних начинках знаходиться в наноструктурованій формі (55...60 % білку) в формі вільних амінокислот. Розроблено також соуси-дресінги, соуси-діпи та сирні закуски та ін.

Література

1. FAO/WHO/UNU. Глобальная стратегия по питанию, физической активности и здоров'ю – 2004 [Текст]. – Резолюция WHA.55.23 принята сессией Всемирной ассамблеи здравоохранения (ВАЗ), 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. Павлюк, Р. Ю. Кріо- і механохімія в харчових технологіях [Текст]: монографія / Р. Ю. Павлюк, В. В. Погарська, О. О. Юр'єва, В. А. Павлюк та ін. – Х.: Фінарт, 2014. – 260 с.
4. Apurba, G. Effect of phytosterols on textural and melting characteristics of cheese spread [Text] / G. Apurba, K. K. Suresh, R. Avneet // Food Chemistry. – 2014. – Vol. 157. – P. 240–245. doi: 10.1016/j.foodchem.2014.01.127
5. Рудавська, Г. Б. Оздоровчі продукти XXI сторіччя [Текст] / Г. Б. Рудавська, Б. О. Голуб // Вісник КДТЕУ. – 1999. – № 4. – С. 42–45.
6. Boisard, L. The salt and lipid composition of model cheeses modifies in-mouth flavour release and perception related to the free sodium ion content [Text] / L. Boisard, I. Andriot, Ch. Martin, Ch. Septier, V. Boissard, Ch. Salles, E. Guichard // Food Chemistry. – 2014. – Vol. 145. – P. 437–444. doi: 10.1016/j.foodchem.2013.08.049
7. McCarthy, C. M. Effect of salt and fat reduction on proteolysis, rheology and cooking properties of Cheddar cheese [Text] / C. M. McCarthy, M. G. Wilkinson, P. M. Kelly, T. P. Guinee // International Dairy Journal. – 2016. – Vol. 56. – P. 74–86. doi: 10.1016/j.idairyj.2016.01.001
8. Hougaard, A. B. Emulsifying salt increase stability of cheese emulsions during holding [Text] / A. B. Hougaard, A. G. Sijbrandij, C. Varming, Y. Ardö, R. Ipsen // LWT – Food Science and Technology. – 2015. – Vol. 62, Issue 1. – P. 362–365. doi: 10.1016/j.lwt.2015.01.006
9. Amamcharla, J. K. Prediction of process cheese instrumental texture and melting characteristics using dielectric spectroscopy and chemometrics [Text] / J. K. Amamcharla, L. E. Metzger // Journal of Dairy Science. – 2015. – Vol. 98, Issue 9. – P. 6004–6013. doi: 10.3168/jds.2015-9739
10. Katarzyna, K. Czynniki kształtujące teksturę serów topionych [Text] / K. Katarzyna // ŻYWNOSĆ. Nauka. Technologia. Jakość. – 2008. – Vol. 3, Issue 58. – P. 5–17.
11. Cichosz, G. Technologia serów topionych [Text] / G. Cichosz. – Warszawa: Hoza, 2000. – 255 p.
12. Surmacka-Szcześniak, A. Texture is a sensory property [Text] / A. Surmacka-Szcześniak // Food Quality and Preferences. – 2002. – Vol. 13. – P. 215–225. doi: 10.1016/s0950-3293(01)00039-8
13. Барамбойм, Н. К. Механохимия высокомолекулярных соединений [Текст] / Н. К. Барамбойм. – М.: Химия, 1978. – 384 с.
14. Allen Foegeding, E. Sensory and mechanical aspects of cheese texture [Text] / E. Allen Foegeding, J. Brown, M. A. Drake, C. R. Daubert // International Dairy Journal. – 2003. – Vol. 13, Issue 8. – P. 585–591. doi: 10.1016/s0958-6946(03)00094-3
15. Tamime, A. Y. Processed Cheese and Analogues: An Overview [Text] / A. Y. Tamime // Processed Cheese and Analogues, 2011. – P. 1–24. doi: 10.1002/9781444341850.ch1
16. Surówka, K. Tekstura żywności i metody jej badania [Text] / K. Surówka // Przem. Spoż. – 2002. – Vol. 10. – P. 12–17.
17. Павлюк, Р. Ю. Новые технологии витаминных углеводсодержащих фитодобавок и их использование в продуктах профилактического действия [Текст]: монография / Р. Ю. Павлюк, А. И. Черевко, И. С. Гулый и др. – Х.; К., 1997. – 285 с.
18. Погарская, В. В. Активация гидрофильных свойств каротиноидов растительного сырья [Текст]: монография / В. В. Погарська, Р. Ю. Павлюк, А. И. Черевко, В. А. Павлюк, Н. Ф. Максимова. – Х.: Фінарт, 2013. – 345 с.
19. Павлюк, Р. Ю. Розробка технології наноекстрактів та нанопорошків із прянощів для оздоровчих продуктів [Текст] / Р. Ю. Павлюк, В. В. Погарська, Л. О. Радченко, О. О. Юр'єва, Г. Е. Гасанова, Т. С. Абрамова, Т. М. Коломієць // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2015. – Т. 3, № 10 (75). – С. 54–59. doi: 10.15587/1729-4061.2015.43323
20. Pavlyuk, R. Elaboration of the new method of the melt cheese products manufacturing without salts-smelters using cryomechanolysis [Text] / R. Pavlyuk, V. Pogarska, O. Yurieva, L. Skripka, T. Abramova // EUREKA: Life Sciences. – 2016. – Vol. 4 (4). – P. 49–56. doi: 10.21303/2504-5695.2016.00193
21. Pavlyuk, R. The development of cryogenic method of deep treatment of inulin-containing vegetables (topinambour) and obtaining of prebiotics in the nanopowders form [Text] / R. Pavlyuk, V. Pogarska, V. Pavlyuk, R. Balabai, S. Loseva // EUREKA: Life Sciences. – 2016. – Vol. 3 (3). – P. 5–9. doi: 10.21303/2504-5695.2016.00145