

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ТРУБНІКОВА АНАСТАСІЯ АНАТОЛІЇВНА



УДК 637.247.044–021.146.4:66–914.7

**РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ БЕЗЛАКТОЗНОГО КОНЦЕНТРАТУ
МАСЛЯНКИ ІЗ ЗАДАНИМ СКЛАДОМ НУТРИЄНТІВ**

Спеціальність 05.18.04 – технологія м'ясних, молочних продуктів
і продуктів з гідробіонтів

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2019

Дисертація є кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

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

Науковий керівник – кандидат технічних наук, доцент
Шарахматова Тетяна Євгенівна,
Одеська національна академія харчових технологій,
факультет технології та товарознавства харчових
продуктів і продовольчого бізнесу, декан факультету.

Офіційні опоненти: – доктор сільськогосподарських наук, професор
Цісарик Оріся Йосипівна,
Львівський національний університет ветеринарної
медицини та біотехнологій ім. С.З. Гжицького,
кафедра технології молока і молочних продуктів,
завідувач кафедри;

– доктор технічних наук, професор
Погожих Микола Іванович,
Харківський державний університет харчування та
торгівлі, кафедра фізико-математичних та інженерно-
технічних дисциплін, завідувач кафедри.

Захист дисертації відбудеться «19» грудня 2019 р. о 14.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.088.02 Одеської національної академії харчових технологій за адресою: вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039, Україна.

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

Автореферат розісланий «18» листопада 2019 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 41.088.02
доктор технічних наук, професор



Г.В. Крусір

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми пов'язана зі стійкою тенденцією дефіциту повноцінних білків у харчуванні людей та стійким зростанням патології травневої системи, зокрема, лактазної недостатності. Це питання ускладнюється недостатнім обсягом випуску без- і низьколактозних харчових продуктів, зокрема, молочних.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження, що увійшли до змісту даної роботи, виконувались за держбюджетними тематиками кафедри технології молочних, олійно-жирових продуктів і косметики: «Удосконалення технології молочно-білкових концентратів», «Розробка технологій морозива спеціального призначення», відповідно до пріоритетного напрямку наукових робіт ОНАХТ «Теорія і практика створення нових технологій харчових продуктів». Дисертаційна робота відповідає переліку пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки на період до 2020 р., затверджених Кабінетом міністрів України («Про затвердження переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2020 року» від 7 вересня 2011 р. № 942).

Мета і завдання досліджень. Метою роботи є теоретичне та експериментальне обґрунтування технології безлактозного білково-ліпідного концентрату маслянки із заданим складом нутрієнтів на основі мембранних процесів видалення лактози та використання його при виробництві синбіотичного йогуртового низьколактозного морозива.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

– встановити доцільність використання ультрафільтрації для концентрування білково-ліпідної фракції маслянки та її діафільтрації пермеатом, отриманим нанофільтрацією ультрафільтраційного пермеату маслянки для видалення лактози;

– розробити прикладну методику розрахунку для оцінки ефективності процесу діафільтрації маслянки зі збереженням мінерального складу;

– визначити граничні умови ультрафільтрації для максимального концентрування білково-ліпідної фракції маслянки;

– визначити основні характеристики нанофільтраційних мембран марки ОПМН і пермеату, що утворився при нанофільтрації, який використовується як розчинник при діафільтрації ретентату, отриманого ультрафільтрацією маслянки;

– дослідити процес безперервної діафільтрації ретентату, отриманого ультрафільтрацією маслянки;

– розробити технологію і основні принципи функціонування установки для безперервного одержання безлактозного білково-ліпідного концентрату маслянки;

– дослідити вплив режимів пастеризації, сушіння і зберігання на показники якості кінцевих продуктів;

– розробити науково-обґрунтовані рецептури і технологію низьколактозного синбіотичного йогуртового морозива на основі безлактозного білково-ліпідного концентрату маслянки;

– розробити нормативну документацію на виробництво рідкого і сухого безлактозного білково-ліпідного концентрату маслянки та низьколактозного синбіотичного йогуртового морозива на його основі, провести промислову апробацію розроблених концентратів та низьколактозного синбіотичного йогуртового морозива, розрахувати економічну ефективність від впровадження розроблених технологій.

Об'єкт дослідження – технології безлактозного білково-ліпідного концентрату маслянки, синбіотичного йогуртового низьколактозного морозива;

Предмет дослідження – продукти ультрафільтрації, нанофільтрації, діафільтрації маслянки, рідкий та сухий безлактозний білково-ліпідний концентрат маслянки, сухе знежирене безлактозне молоко, закваски для виробництва йогурту із зниженим вмістом лактози, стабілізатор, харчосмакові інгредієнти для низьколактозного йогуртового молочного морозива, органолептичні, фізико-хімічні, функціонально-технологічні, мікробіологічні показники якості сировини і готової продукції.

Методи досліджень – комплекс традиційних і сучасних хімічних, біохімічних, фізико-хімічних, мікробіологічних та математично-статистичних методів досліджень, відкоригованих для роботи з молочною сировиною і білковими молочними концентратами.

Наукова новизна одержаних результатів.

Вперше:

– отримані науково обґрунтовані дані щодо впливу діафільтраційного очищення на вміст лактози та мінеральних речовин при використанні у якості розчинника пермеату, отриманого нанофільтрацією ультрафільтраційного пермеату маслянки;

– встановлена чітка залежність впливу вмісту кальцію на функціональні властивості безлактозного білково-ліпідного концентрату маслянки;

– отримана нова інформація щодо залежності антиоксидантної активності безлактозного білково-ліпідного концентрату маслянки і продуктів на його основі від хімічного складу рецептурних компонентів (білків, фосфоліпідів, тощо);

– досліджено вплив безлактозного білково-ліпідного концентрату маслянки на функціональні властивості синбіотичного йогуртового низьколактозного морозива.

Науково і експериментально обґрунтовано процес сушіння безлактозного білково-ліпідного концентрату маслянки у завислому шарі інертних носіїв, встановлено режими сушіння та функціональні властивості продукту.

Поглиблено знання щодо стабільності мікрофлори у процесі зберігання розробленого безлактозного білково-ліпідного концентрату маслянки.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблена прикладна методика розрахунку діафільтраційного процесу з використанням пермеату, отриманого нанофільтрацією ультрафільтраційного пермеату маслянки.

Розроблена технологія рідкого і сухого безлактозного білково-ліпідного концентрату маслянки із заданим складом нутрієнтів (білків, жирів, лактози, мінеральних речовин), яка дозволяє розширити асортимент безлактозних і низьколактозних продуктів з найменшими ресурсо- та енерговитратами.

Запропоновано експериментально обґрунтоване технічне рішення реалізації розробленої мембранної технології видалення лактози з маслянки безперервним способом із збереженням мінерального складу і розроблено схему, яка дозволяє автоматизувати процес.

Розроблено рецептури та технологію нової лінійки синбіотичного йогуртового низьколактозного морозива, які характеризуються підвищеними функціональними властивостями.

Розроблено нормативну документацію на безлактозні білкові концентрати рідкі (ТУ У 15.5-36759161-008:2019 та ТІ до ТУ У), безлактозні білкові концентрати сухі (ТУ У 15.5-36759161-009:2019 та ТІ до ТУ У) та проект документації на низьколактозне синбіотичне йогуртове морозиво (ТУ У та ТІ).

Результати дисертаційної роботи використовуються в навчальному процесі ОНАХТ.

Впровадження науково-технічних розробок шляхом випуску промислових партій нових продуктів здійснені у виробничих умовах промислових підприємств Тульчинської філії ТОВ «ТЕРРА ФУД» (м. Тульчин, Вінницька область) та СПД Дьякончук (м. Одеса).

Наукова новизна прийнятих технологічних рішень захищена 5 патентами України на корисну модель.

Особистий внесок здобувача полягає у аналізі літературних джерел, плануванні та проведенні експериментів, обробці та узагальненні отриманих результатів, підготовці матеріалів досліджень до публікування і заявок на корисні моделі, розробці нормативної документації, промисловій апробації розроблених технологій. Особистий внесок здобувача підтверджено представленими документами та науковими публікаціями. У наукових працях, опублікованих у співавторстві, здобувачу належить: постановка експериментів та аналіз отриманих результатів, формулювання та узагальнення висновків.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідались, обговорювались та отримали схвалення на: міжнародній науково-технічній конференції «Перспективи розвитку м'ясної, молочної та олієжирової галузей у контексті євроінтеграції» (НУХТ, Київ, 2016); міжнародній науково-практичній конференції «Технології харчових продуктів і комбікормів» (Одеса, 2017, 2019); 78-ій науковій конференції викладачів ОНАХТ (Одеса, 2018); the international research and practical conference «The development of technical sciences: problems and solutions» (Brno, Czech Republic, 2018); international Multidisciplinary Conference «Science and Technology of the Present Time: Priority Development Directions of Ukraine and Poland» (Wolomin, Republic of Poland, 2018); 79-ій науковій конференції викладачів ОНАХТ (Одеса, 2019); XI Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених та студентів з міжнародною участю «Проблеми формування здорового способу життя у молоді» (Одеса, 2018).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 25 наукових праць, з них 9 – у наукових фахових виданнях України, 1 – у виданні України, яке включено до міжнародної наукометричної бази (Web of Science), 1 – у виданні іноземної держави; 5 патентів України на корисну

модель, тези 9 доповідей у матеріалах наукових та науково-практичних конференцій.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку літературних джерел з 240 найменувань, додатків. Роботу викладено на 162 сторінках основного тексту, вона містить 34 таблиці (15 стор.), 43 рисунки (22 стор.).

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** висвітлено стан проблеми та її актуальність, зв'язок роботи з науковими програмами, темами, планами, сформульовано мету і завдання досліджень, викладено наукову новизну і практичне значення одержаних результатів, наведено дані про особистий внесок здобувача, апробацію роботи та наукові публікації за темою дисертаційної роботи.

У **першому розділі** «Аналіз літературних джерел» наведені відомості про хімічний склад і біологічну цінність маслянки, що дозволяє використовувати її як цінну вторинну сировину для подальших досліджень; описані причини непереносимості лактози організмом людини і способи видалення лактози з молочних продуктів, зокрема маслянки, їх недоліки та переваги. Наведені загальні відомості про мембрани і мембранні технології. Достатньо уваги приділено діафільтрації, як основному прийому видалення низькомолекулярних речовин з УФ концентрату молочної сировини. Обґрунтований метод нанофільтрації для використання при діафільтрації (отримання безлактозного НФ пермеату). Проведений аналіз і обґрунтування методів виділення і концентрування білково-ліпідної фракції маслянки. Описані технології і способи отримання безлактозних і низьколактозних молочних продуктів, в тому числі, рідких і сухих концентратів молочного білку і зроблений їх критичний аналіз. Проведений моніторинг ринку сучасних безлактозних і низьколактозних продуктів. На основі узагальнених відомостей, що наведені в першому розділі, сформульована гіпотеза щодо можливості використання в якості розчинника НФ пермеату УФ пермеату маслянки, який знижує концентрацію лактози (або повністю видаляє, в залежності від кінцевої мети) при діафільтрації УФ ретентату, дозволяє в ньому зберегти мінеральний склад.

У **другому розділі** «Об'єкти і методи досліджень» наведено основні об'єкти та методи досліджень, програму досліджень (рис. 1), характеристику лабораторного обладнання, на якому проводили дослідження, комплекс традиційних і сучасних хімічних, біохімічних, фізико-хімічних, мікробіологічних та математично-статистичних методів досліджень, відкоригованих для роботи з молочною сировиною і білковими молочними концентратами.

У **третьому розділі** «Дослідження процесу отримання безлактозного білково-ліпідного концентрату маслянки із заданим складом нутрієнтів» наведено результати досліджень мембранного процесу отримання безлактозного концентрату, в якому задавали наступний склад нутрієнтів: білків – 12...16 %; жирів – 1,5...4,0 %; мінеральних речовин (золи) – 0,6...0,8 %; концентрація лактози – max 0,1 %.



Рис. 1. Програма досліджень.

Вивченням діафільтраційного очищення займалися науковці: Чагаровський О.П., Круглик В.І., Тімкін В.А., Каллиойнен Х., Kovács Z., Fikar M., Foley G., Paulen, R. тощо. У всіх випадках розчинником продуктів була вода.

Пропонується методика, яка забезпечує порівняльний аналіз і вибір оптимального варіанту процесу діафільтрації НФ пермеатом. На основі загальновідомих закономірностей мембранного фільтрування виведенні формули для розрахунку основних показників ефективності процесу діафільтрації (табл.1).

Таблиця 1

Основні залежності діафільтраційного очищення маслянки від лактози

Варіант діафільтрації	Основні залежності
Періодичний процес з однократним розведенням концентрату	$C_{\kappa}^l = \frac{C_0^l}{Kp} (1 + R^l); \quad V_{нф} = V_0 (1 + C^{BMC} \times 0,01)(Kp - 1); \quad \tau = \frac{V_{\phi}}{G \times F}$
Періодичний процес з багаторазовим розведенням концентрату маслянки	$C_{\kappa}^l = \frac{C_0^l}{(Kp^1)^N} \times (1 + R^l); \quad V_{нф}^N = N \times V_{нф}^1; \quad V_{нф}^1 = G \times F$
Періодичний процес з безперервним розведенням концентрату маслянки	$C_{\kappa}^{l\tau} = \frac{C_0^l}{(Kp^1)^{3600 \times \tau}} \times (1 + R^l); \quad V_{нф}^{\tau} = V_{нф}^1 \times \tau; \quad V_{нф}^1 = G \times F; \quad \tau = \frac{\lg \frac{C_0^l}{C_{\kappa}^{\tau}} + \lg(1 + R)}{3600 \times \lg Kp^1}$

Безперервний процес з перехресним потоком НФ пермеату	$C_{\kappa}^{\lambda} = \frac{C_o^{\lambda}}{Z^n} \times (1 + R^{\lambda}); V_{\text{нф}}^{\tau} = V_{\text{нф}}^1 \times \tau; V_{\text{нф}}^1 = G \times F; \tau = \frac{\lg \frac{C_o^{\lambda}}{C_{\kappa}^{\lambda}} + \lg(1 + R)}{3600 \times \lg Kp^1}$
Безперервний процес з протитечією НФ пермеату	$C_{\kappa}^{\lambda} = \frac{C_o^{\lambda}}{(Kp^1)^n} \times (1 + R^{\lambda}); \tau_i = \frac{V_{\text{нф}}}{G \times F_i}; V_{\text{нф}} = G \times F$

Примітка: $V_o, V_{\text{нф}}$ – відповідно початковий об'єм водної фази маслянки і діафільтраційний об'єм НФ пермеату, дм^3 ; $C_o^{\lambda}, C_{\kappa}^{\lambda}$ – відповідно початкова і кінцева концентрації лактози в водній фазі маслянки, %; $C_{\text{кон}}^{\lambda}, C_{\text{ф}}^{\lambda}$ – відповідно концентрації лактози в водній фазі маслянки в УФ ретентаті і УФ пермеаті, %; F – площа мембран в установці, м^2 ; $V_{\text{нф}}^1$ – діафільтраційний об'єм НФ пермеату для одного циклу розведення, дм^3 ; Kp^1 – кратність розведення водної фази за 1 цикл; τ – загальний час безперервної діафільтрації, год.; G – питома продуктивність мембран, $\text{дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год.}$; N – число циклів обробки; R^{λ} – селективність мембрани по лактозі.

Об'єктом експериментальних досліджень використовували концентрат маслянки, отриманий ультрафільтрацією маслянки. Для ультрафільтрації (УФ) і діафільтрації (ДФ) застосовували порожнистолоконні мембрани ВПУ-15 в складі модуля АР-2 ультрафільтраційної установки УПЛ-0,6. Для нанофільтрації (НФ) УФ пермеату маслянки застосовували мембрани марки ОПМН-П при робочих параметрах $P = 1,6$ МПа, $t = 50$ °С, отриманих на лабораторній установці ФТ-01. Значення питомої продуктивності при діафільтрації визначали при робочих параметрах $P = 0,15$ МПа і $t = 45$ °С за допомогою мірного циліндра і секундоміра.

Результати розрахунків (табл. 2) підтвердили, що найбільш ефективними процесами діафільтрації є періодичний з безперервним розведенням і безперервний з перехресним потоком НФ пермеату.

Таблиця 2

Розрахункові дані до вибору оптимального процесу діафільтрації

№ варіанту	Процес	об'єм розчинника (діафільтраційний об'єм), дм^3	Тривалість процесу, год	Кінцева концентрація лактози, %	Ефект очищення $\frac{C_o^{\lambda}}{C_{\kappa}^{\lambda}}$
2	Періодичний з циклічним розведенням:				
	а) $n=2, N=4$	400	5,0	0,15	30
	б) $n=4, N=2$	600	7,5	0,30	15
3	Періодичний з безперервним розведенням	384	4,8	0,15	30
4	Безперервний з перехресним потоком	384	4,8	0,15	30
5	Безперервний з поверненням пермеату (протитечією)	100	12,5	0,66	7

Найбільш економічним за витратами НФ пермеату є безперервний варіант з протитечією НФ пермеату. Однак, його не можна рекомендувати

через значну тривалість процесу – 12,5 годин. Періодичний процес діафільтрації з одноразовим розведенням (варіант 1) в розрахунках не розглядався. Цей процес не вигідний через великий об'єм фільтрату, видалення якого вимагає багато часу.

Розрахункові дані повністю підтвердилися експериментами. Запропонована методика розрахунку може використовуватися для виробничих умов підприємств молочної промисловості. Вона дозволяє за короткий час оцінити можливі варіанти очищення продукту від лактози і дати висновок про оптимальність.

Для отримання концентрату маслянки з заданим складом білків і жирів маслянку піддавали ультрафільтрації при $P = 0,15$ МПа, з фактором концентрування (ФК) від 2 до 6. У роботі не ставилося завдання дослідження основних закономірностей процесу ультрафільтрації маслянки, оскільки цей процес є досить вивченим. Однак, така обробка була необхідна для отримання УФ ретентату і УФ пермеату. УФ ретентат є основою для отримання без- або низьколактозного молочного концентрату. При ФК більше 5 продуктивність падала, що пояснюється концентраційною і гелевою поляризацією мембрани. Тобто, фактор концентрування маслянки обмежується властивостями мембран. Ультрафільтраційне концентрування білково-ліпідної фракції маслянки при ФК=5 дозволяє отримати УФ ретентат з масовою часткою білків – 16,06 %, жирів – 2,01 %, при ФК=4: масова частка білків – 12,81 %, жирів – 1,61 %, що відповідає заданому складу (табл. 3). УФ концентрат, що отриманий при УФ (ФК=3), не відповідає заданому складу нутрієнтів, але його можна використовувати при виробництві без- або низьколактозних молочних напоїв, коктейлів тощо.

Таблиця 3

Хімічний склад вихідної сировини і продуктів ультрафільтрації маслянки (ФК від 3 до 5)

Вихідна сировина /продукти ультрафільтрації	Показник			
	масова частка білків, %	масова частка лактози, %	масова частка жиру, %	масова частка золи, %
Маслянка-сировина	3,20±0,05	4,50±0,06	0,40±0,10	0,70±0,09
Ультрафільтрація (ФК = 3)				
Пермеат	0,11±0,05	4,48±0,06	-	0,61±0,09
Ретентат	9,61±0,05	4,53±0,06	1,21±0,10	0,94±0,09
Ультрафільтрація (ФК = 4)				
Пермеат	0,13±0,05	4,48±0,06	-	0,61±0,09
Ретентат	12,81±0,05	4,53±0,06	1,61±0,10	1,03±0,09
Ультрафільтрація (ФК = 5)				
Пермеат	0,16±0,05	4,48±0,06	-	0,61±0,09
Ретентат	16,06±0,05	4,53±0,06	2,01±0,10	1,11±0,09

Високомолекулярні речовини (білки і жири) в УФ концентраті збільшуються пропорційно збільшенню фактору концентрування (табл. 3). Концентрація лактози, як в УФ концентраті, так і в УФ фільтраті залишається практично на початковому рівні. Мінеральні речовини (зола) при збільшенні

фактору концентрування збільшуються через колоїдний кальцій. Селективність мембран ВПУ-15 за лактозою склала 4 %, за білком – 99,6 %.

Отриманий після ультрафільтрації УФ ретентат містив 4,53 % лактози, для її видалення використовували діафільтрацію. Як розчинник при діафільтрації використовували НФ пермеат.

Для отримання НФ пермеату УФ пермеат, що одержали при ультрафільтрації маслянки, піддавався подальшій нанофільтрації. Основними характеристиками мембран є питома продуктивність (проникність), яка залежить, зокрема, від тиску і температури.

Експериментальна залежність продуктивності нанофільтраційних мембран від тиску при температурі 20...22 °С і при об'ємній витраті насоса 200 дм³/год. наведена на рис. 2. В діапазоні тисків 0,5...1,5 МПа залежність була лінійною (рис. 2). При подальшому збільшенні трансмембранного тиску спостерігалось менш інтенсивне зростання проникності. Тиск понад 2,0 МПа в роботі не використовували через обмежені можливості насоса. Крім того, детальне вивчення процесу нанофільтрації не входило в мету дослідження.

Додатково були отримані залежності проникності мембран від використаних факторів концентрування (рис. 3). Аналіз даних показує, що в діапазоні факторів концентрування 1...4 при тиску 1,0 МПа падіння продуктивності сягало понад 2 рази (з 17 до 8 дм³), тоді як при тиску біля 2,0 МПа падіння склало близько 1,5 рази. Зазначені факти пояснюються комбінованим впливом зростаючого осмотичного потенціалу розчину, концентраційною і гелевою поляризацією мембрани.

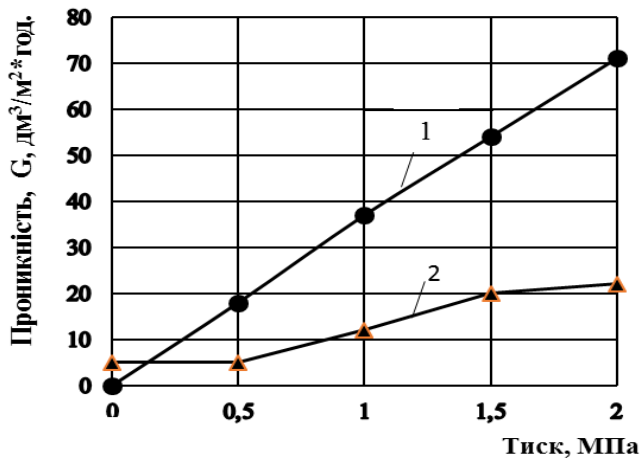


Рис. 2. Залежність проникності НФ мембран марки ОПМН від тиску при обробці УФ пермеату маслянки: 1 – нанофільтрація води (контроль); 2 – нанофільтрація УФ пермеату.

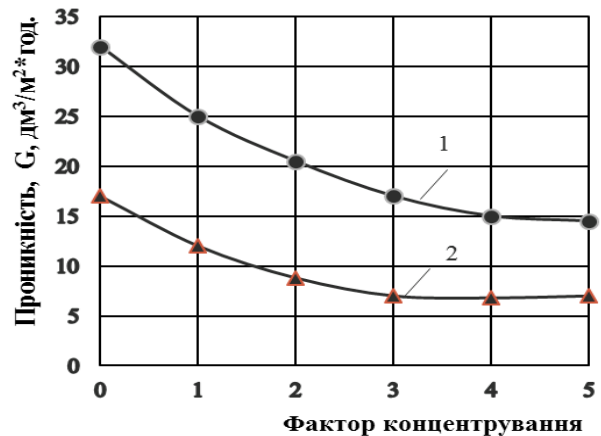


Рис. 3. Вплив факторів концентрування і трансмембранного тиску на проникність НФ мембран марки ОПМН: 1 – 2,0 МПа; 2 – 1,0 МПа.

Експериментальні дані є основою для визначення середньої питомої продуктивності мембран, яка застосовується в аналітичних розрахунках варіантів діафільтрації.

Хімічний склад продуктів нанофільтрації в порівнянні з вихідним УФ пермеатом представлений в табл. 4.

Зміни концентрації лактози та золи при нанофільтрації УФ пермеату

Показник	УФ пермеат	НФ ретентат	НФ пермеат
Нанофільтрація УФ пермеату маслянки (ФК=4)			
Масова частка лактози, %	4,48±0,06	17,9±0,06	сліди
Масова частка золи, %	0,70±0,09	0,73±0,09	0,70±0,09
Нанофільтрація УФ пермеату маслянки (ФК=5)			
Масова частка лактози, %	4,48±0,06	22,3±0,06	сліди
Масова частка золи, %	0,70±0,09	0,73±0,09	0,70±0,09

Отриманий в процесі нанофільтрації УФ пермеату маслянки НФ ретентат містить переважно концентрат лактози, тому його можна направити на виробництво молочного цукру або пропонувано використовувати як середовище для розмноження молочнокислих мікроорганізмів.

З даних табл. 4 видно, що селективність випробуваних мембран за лактозою була дуже високою (більше 99 %). У той же час, селективність за мінеральними речовинами практично дорівнювала 0 %. Мінеральний склад (зола) нанофільтрату на рівні 0,7 % відповідав мінеральному складу концентрату маслянки і не змінювався в ході процесу.

Таким чином, в якості розчинника, який знижує концентрацію лактози, при діяфільтрації можна використовувати нанофільтрат пермеату ультрафільтрації маслянки. Цей прийом дозволив зберегти хімічний склад концентрату з ефективним видаленням лактози.

Дослідження процесу діяфільтрації УФ ретентату маслянки НФ пермеатом. Процес проводився в безперервному режимі. При діяфільтраційній обробці УФ ретентату маслянки були отримані експериментальні залежності проникності порожнистоволоконних мембран при різних діяфільтраційних об'ємах (діяоб'ємах) буфера (НФ пермеату) для трьох різних температур обробки (рис. 4). Тенденція зміни цього показника була однаковою. Спочатку спостерігалось падіння проникності, а потім збільшення і стабілізація до кінця процесу. При чому за температури 50 °С ефект був більш вираженим: різке зростання з 8,5 дм³/м²×год. при значенні DV=1,5 і стабілізація при значенні близько 10 дм³/м²×год., починаючи з DV=3...3,5. Експеримент для температур більших ніж 50 °С не проводився через загрозу денатурації цінних білкових компонентів. Аналіз залежностей показує, що зростання продуктивності при збільшенні температури пояснюється різким зниженням в'язкості, що сприятливо позначається на швидкості потоку в каналі волокон. При цьому знижується вплив концентраційної і гелевої поляризації, які перешкоджають проникненню розчинених частинок через мембрану.

Цими ж ефектами можна пояснити сталі значення проникності, коли гелевий шар осаду сформувався і прийняв значення стабільної товщини за всією поверхнею мембрани. Зростання продуктивності при діяфільтрації пояснюється тим, що основна маса низькомолекулярних компонентів видалається з концентрату при значеннях діяоб'єму 0,5...1,5 (рис. 5). Ці речовини в основному визначають осмотичний потенціал розчину. Його падіння, при однаковому робочому тиску, призводить до зростання продуктивності мембран.

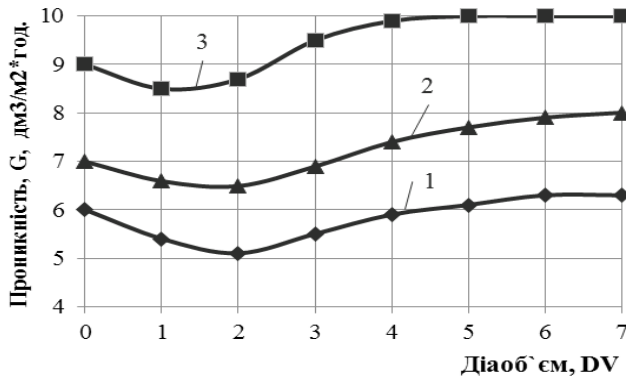


Рис. 4. Залежність проникності порожнистолокопних мембран ВПУ-15 від діаб'єму при очищенні концентрату маслянки (P=0,15 МПа): 1 – 30 °С; 2 – 40 °С; 3 – 50 °С.

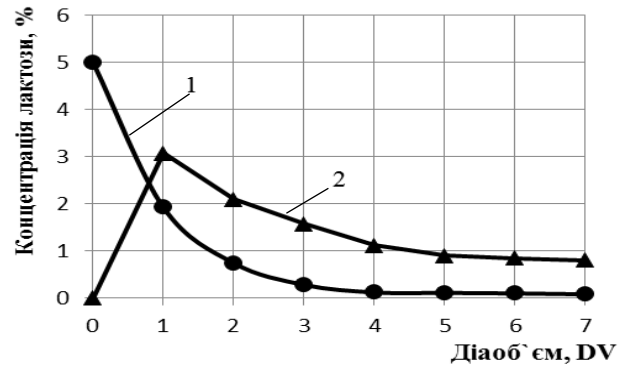


Рис. 5. Залежність концентрації лактози в ретентаті та пермеаті: 1 – ДФ ретентат; 2 – ДФ пермеат.

Зміна концентрацій лактози в ДФ ретентаті та ДФ пермеаті представлені в табличному вигляді разом з розрахованою ефективністю видалення лактози (ЕВ) (табл. 5).

Таблиця 5

Ефективність видалення лактози при діалізації

Показник	Діаб'єм, DV						
	1	2	3	4	5	6	7
Концентрація лактози в ДФ ретентаті, %	1,93	0,75	0,29	0,11	0,04	0,02	0,01
Концентрація лактози в ДФ пермеаті, %	3,07	2,10	1,57	1,22	0,99	0,83	0,71
ЕВ лактози, близько %	57,00	83,00	94,00	98,00	99,20	99,60	99,80

Експериментальні (рис. 5) та розрахункові дані (табл. 5) за розробленою методикою збігаються.

Розрахунок ефективності видалення лактози показує, що для значення діаб'єму DV=3 більш 90 % цього небажаного компонента видалається з ДФ ретентату. За своїми характеристиками він стає низьколактозним. Для досягнення дуже низьких концентрацій лактози (менше 0,1 %) потрібні витрати буферу більше 4 діаб'ємів. Селективність мембран за лактозою протягом всього процесу лишалася незмінною (R = 0,05).

Хімічний склад безлактозного концентрату, одержаного діалізацією (DV=7) УФ ретентату (ФК=3...5) НФ пермеатом (ФК=5), наведено в табл. 6.

Таблиця 6

Хімічний склад безлактозних білково-ліпідних концентратів маслянки

Показник	Заданий склад нутрієнтів	Безлактозний концентрат маслянки (ББКМ), одержаний діалізацією (DV=7) УФ ретентату маслянки, отриманого ультрафільтрацією при:		
		ФК=3	ФК=4	ФК=5
Масова частка сухих речовин, %, зокрема:		11,7±0,01	15,10±0,01	18,78±0,01
масова частка лактози, %	max 0,1	сліди	сліди	сліди
масова частка білку, %	12,0...16,0	9,5±0,05	12,74±0,05	16,01±0,05
масова частка жиру, %	1,5...2,0	1,2±0,01	1,61±0,01	2,03±0,01
масова частка золи, %	0,70±0,1	0,70±0,09	0,70±0,09	0,70±0,09

Таким чином, запропонований прийом очищення від лактози УФ ретентату (тобто діафільтрація НФ пермеатом) забезпечив повне видалення лактози з концентрату при збереженні мінерального складу, що ідентичний вихідній масляниці, при цьому підвищилася концентрація білково-ліпідного комплексу, як це видно з табл. 5. При $\text{ФК}=4\dots5$ склад нутрієнтів (білків, жирів, золи, лактози) відповідає заданому рівню.

Отриманий рідкий безлактозний білково-ліпідний концентрат маслянки піддавали тепловій обробці. Оптимальним режимом пастеризації є режим $80\pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ з витримкою 15...20 секунд через мінімальні зміни складу і властивостей продукту (ефективність пастеризації 99,98 %, що вважається достатньою).

Готовий рідкий безлактозний білково-ліпідний концентрат маслянки після пастеризації підлягав негайному фасуванню в стерилізовану скляну тару, герметичному укупуванню, охолодженню до $4\pm 2\text{ }^\circ\text{C}$, а потім зберіганню, в процесі якого кожену добу контролювали сенсорні, фізико-хімічні показники (активну та титровану кислотність) і мікробіологічні показники через 3, 5 і 8 діб. Змін титрованої та активної кислотності в процесі зберігання готового продукту протягом 8 діб практично не відбувалось. Проведено контроль безпеки рідкого безлактозного білково-ліпідного концентрату маслянки і встановлено зміни контамінації КМАФАнМ, *E. coli*, coliforms, *Bacillus cereus*, бактерії роду *Listeria*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* при зберіганні. Для контролю безпеки продукту використовували нове покоління мікробіологічних середовищ – хромогенні поживні мікробіологічні середовища Compact Dry (виробник Nissui Pharmaceutical CO. LTD, Японія). Результати проведених досліджень дають можливість стверджувати, що гарантований термін зберігання досліджуваного продукту – 5 діб при температурі $4\pm 2\text{ }^\circ\text{C}$.

Технологічна схема одержання безлактозного білково-ліпідного концентрату маслянки наведена на рис. 6.

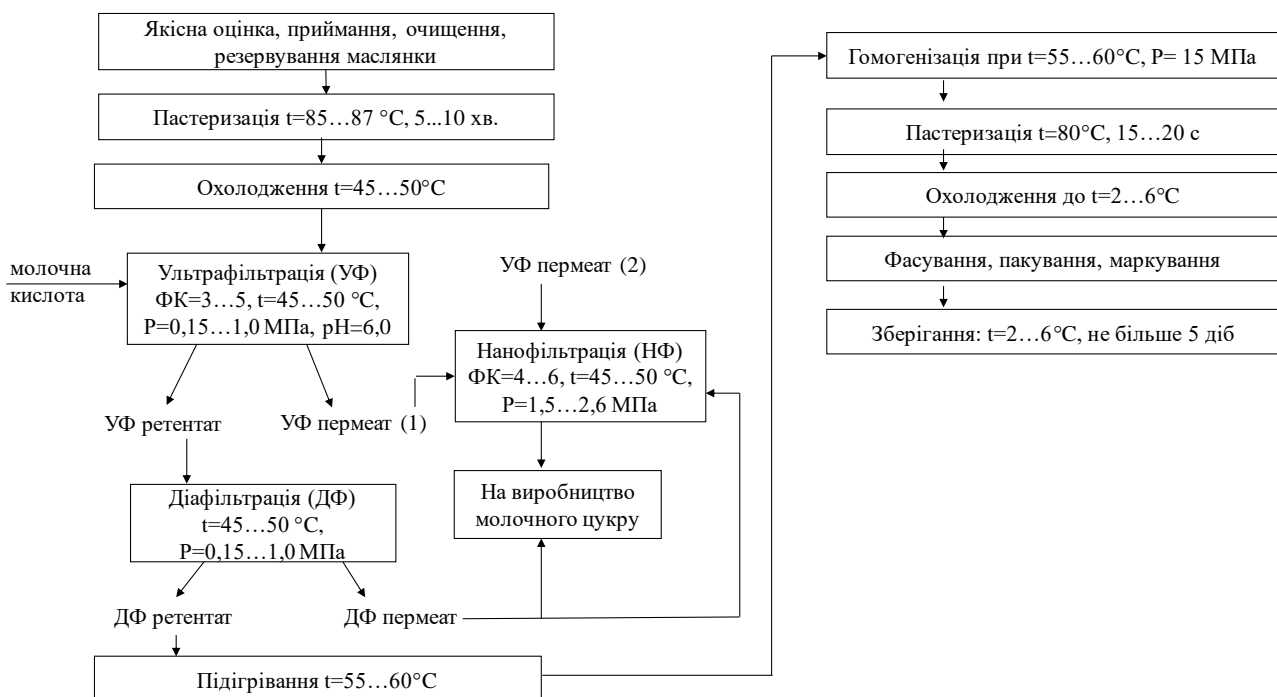


Рис. 6. Технологічна схема виробництва рідкого безлактозного білково-ліпідного концентрату маслянки.

Встановлено, що антиоксидантна активність зразків із збільшенням фактору концентрування при ультрафільтрації підвищувалась, що пов'язано із збільшенням білків (особливо тих, що містять сірковмісні амінокислоти) та фосфоліпідів. Їх активність в 1,2...1,6 разів вища у порівнянні з масляною сировиною, активність якої становить 220 умовних одиниць. Для підтвердження високої біологічної цінності отриманого концентрату визначали його амінокислотний та жирнокислотний склад. Отриманий ББКМ має високу біологічну цінність. Лімітуючих амінокислот в концентраті немає.

Практична реалізація розробленого способу та установки для безперервного видалення лактози можлива, це підтверджено патентами України на корисну модель. Установка містить 3 однотипних контури: ультрафільтрація, діафільтрація, нанофільтрація, до складу яких входять мембранні апарати, ємності, трубопроводи і контрольно-вимірювальні прилади. Відмінність цих контурів полягає в марці мембран і площі мембранного фільтрування. Установка забезпечить безперервність процесу, якщо будуть дотримані певні співвідношення витрат потоків продуктів мембранної обробки: ультрафільтрації, діафільтрації та нанофільтрації, що забезпечується узгодженістю функціонування контрольних та виконавчих приладів, якими забезпечений кожен контур. Установка дає можливість отримувати продукт з заданим вмістом лактози і білку.

Характеристики мембран ВПУ-15 (селективність за лактозою $R = 1,0 \%$; за солями $R = 0 \%$, питома продуктивність за фільтратом $G = 10 \text{ дм}^3/\text{м}^2 \times \text{год.}$) і ОПМН-П (селективність за лактозою $R = 99,7 \%$; за солями $R = 0 \%$, питома продуктивність за фільтратом $G = 15 \text{ дм}^3/\text{м}^2 \times \text{год.}$) забезпечують безперервність процесу і хорошу якість кінцевого продукту.

Істотним недоліком, який є наслідком забруднення мембран в даній установці, є неврахування режимів регенерації мембран і стерилізації мембранного обладнання. Цей напрямок є перспективою для подальшої роботи.

У **четвертому розділі** «Отримання сухого безлактозного білково-ліпідного концентрату маслянки» досліджено можливість одержання сухого безлактозного білково-ліпідного концентрату маслянки методом сушіння на інертних носіях, що дозволить підвищити його попит на світовому ринку і розширити застосування в інших галузях харчової промисловості.

В результаті лабораторних досліджень визначені попередні показники щодо раціонального режиму сушіння ББКМ у завислому шарі інертних носіїв: температура повітря на вході $125...130 \text{ }^\circ\text{C}$; температура продукту на виході з сушарки – $55...60 \text{ }^\circ\text{C}$; швидкість повітря у вхідному перетині – $15...20 \text{ м/с}$; масова частка сухих речовин у вхідному концентраті – не більше 20% ; кінцева вологість сухого ББКМ – не більше $5,0 \%$.

Технологічна схема виробництва сухого безлактозного білково-ліпідного концентрату маслянки наведена на рис. 7.

Отриманий сухий безлактозний білково-ліпідний концентрат маслянки (ББКМ) – дрібний порошок, що має білий з легким кремовим відтінком колір, чистий, молочний смак та запах, без сторонніх присмаків і запахів.

Хімічний склад сухого ББКМ наведений в табл. 7.



Рис. 7. Технологічна схема виробництва сухого безлактозного білково-ліпідного концентрату маслянки.

Таблиця 7

Хімічні показники зразків сухого ББКМ

Найменування показника	Значення	
	дослідні зразки сухого ББКМ, отриманого УФ/ДФ при:	
	ФК=4	ФК=5
Масова частка вологи, %	4,71±0,01	4,19±0,01
Масова частка жиру, %	10,24±0,01	10,37±0,01
Вміст фосфоліпідів, мг/100 г	2315,34±0,03	2424,9±0,03
Масова частка білків, %	80,54±0,05	81,81±0,05
Масова частка золи, %	4,45±0,07	3,58±0,07
Вміст кальцію, мг/100 г	1443,19±0,1	1775,91±0,1
Масова частка лактози, %	0,064±0,01	0,051±0,01

Отримані зразки сухого безлактозного білково-ліпідного концентрату маслянки майже не містять лактозу, мають підвищений вміст жиру і білку.

Термін придатності зразків сухого ББКМ визначали за змінами сенсорних, фізико-хімічних, мікробіологічних, функці-

онально-технологічних показників та ступенем окиснення жиру (за наростанням пероксидного числа). Мікробіологічний контроль зразків сухого ББКМ здійснювали за такими показниками, що дозволяють визначити санітарно-гігієнічний стан розроблених продуктів і наявність збудників харчових отруєнь (табл. 8).

Таблиця 8

Мікробіологічні показники розробленого виду сушеної продукції після виготовлення і в процесі зберігання (КУО/см³)

(n=3; p≥0,95)

Вид продукту	Контамінанти					
	КМАФАнМ	E. coli та coliforms	Bacillus cereus	Бактерії роду Listeria	Pseudomonas aeruginosa	Staphylococcus aureus
Свіжовиготовлений сухий ББКМ	2,1·10 ²	Не виявлено	0,2·10 ¹	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено
Сухий ББКМ через 1 місяць зберігання	2,3·10 ²	Також	0,2·10 ¹	Також	Також	Також
Сухий ББКМ через 6 місяців зберігання	9,2·10 ²	Також	1,0·10 ¹	Також	Також	Також
Сухий ББКМ через 12 місяців зберігання	2,2·10 ³	Також	4,0·10 ¹	Також	Також	Також

З огляду на отримані результати (табл. 8), слід зазначити, що за показниками КМАФАнМ розроблений продукт відповідає як українським, так і міжнародним санітарно-гігієнічним вимогам, відсутність у посівах *E. coli* і коліформ також підтверджує високий санітарно-гігієнічний стан розробленого продукту. Серед збудників харчових отруєнь виявлено наявність *Bacillus cereus*. Судячи з літературних даних, це може бути причиною спалахів захворювань, якщо концентрація *B. cereus* в їжі становитимете 10^3 КУО/см³. Виявлена нами концентрація *B. cereus* на порядки нижче цих показників. Проте, з огляду на наявність *B. cereus*, слід особливо уважно контролювати умови зберігання отриманих продуктів.

Результати досліджень дозволили визначити термін зберігання сухого ББКМ не більше 6 місяців при 0...15 °С та 5 місяців – при 16...25 °С і відносній вологості повітря не більше 65 %.

На нові види безлактозних концентратів розроблена нормативна документація: ТУ У 15.5-36759161-008:2019 «Концентрати білкові молочні безлактозні рідкі», ТІ до ТУ У 15.5-36759161-008:2019; ТУ У 15.5-36759161-009:2019 «Концентрати білкові молочні безлактозні сухі»; ТІ до ТУ У 15.5-36759161-009:2019.

На підставі отриманих експериментальних даних було проведено промислову апробацію дослідних партій рідкого і сухого безлактозного білково-ліпідного концентрату маслянки в умовах Тульчинської філії ТОВ «ТЕРРА ФУД» (м. Тульчин, Вінницька область). Виробництво безлактозних концентратів дозволить отримати чистий прибуток в сумі 3870,15 тис. грн., що окупить необхідні для впровадження капітальні вкладення в розмірі 22295,5 тис. грн. протягом 2,93 років.

У п'ятому розділі «Використання безлактозного білково-ліпідного концентрату маслянки у виробництві низьколактозного синбіотичного йогуртового морозива» доведена можливість використання розроблених безлактозних білково-ліпідних концентратів на прикладі виробництва низьколактозного синбіотичного йогуртового морозива.

Проаналізовані інформаційні джерела щодо використання мікроорганізмів, які найактивніше продукують фермент лактазу при виробництві йогуртної основи, і обґрунтований вибір композиції мікробіологічних культур за β -галактозидазною активністю та кислотоутворенням. Вивчена можливість використання маслянки з підвищеною масовою часткою сухих речовин в якості основного компоненту для виробництва суміші морозива. Встановлена раціональна концентрація сухого безлактозного білково-ліпідного концентрату маслянки, що входить до рецептури йогуртної основи (5,0 % від її маси). Досліджено процес ферментації молочної основи FD DVS культурами (YF-903+La-5+Vb-12). Зразки сквашеної йогуртної основи мають щільний згусток, ніжний аромат, середню в'язкість та добрі технологічні показники – піноутворювальну здатність та стійкість піни. Визначені основні фізико-хімічні показники отриманої йогуртної основи (масова частка лактози, масова частка білків та жирів), що забезпечують раціональний вміст у готовому низьколактозному морозиві основних компонентів хімічного складу (збільшений вміст білків – 7,13 %, знижений вміст лактози – 3,01 %). Отримані зразки

йогуртної основи характеризувались високим вмістом корисної мікрофлори (біфідо- та лактобактерій). Наведена технологічна схема виробництва пробіотичної йогуртної основи з маслянки.

Для виробництва низьколактозного синбіотичного йогуртового морозива отримано оптимальне співвідношення (%) безлактозного білково-ліпідного концентрату маслянки (ББКМ) та лабораторної йогуртної основи (Й), що становить ББКМ(ФК=5)/Й – 59,4/40,6. Оптимізація проведена за максимумом піноутворювальної здатності, оскільки вона залежить як від співвідношення ББКМ/Й так і від ФК. При цьому максимальний вміст лактози в морозиві обмежувався 1%. В результаті обробки масиву даних отримані залежності: зміна піноутворюючої здатності від фактору концентрування і частки йогуртної основи в суміші (рис. 8); вміст лактози в залежності від частки йогуртної основи в суміші (рис. 9). Розроблена оптимальна рецептура на морозиво низьколактозне синбіотичне йогуртове (табл. 10).

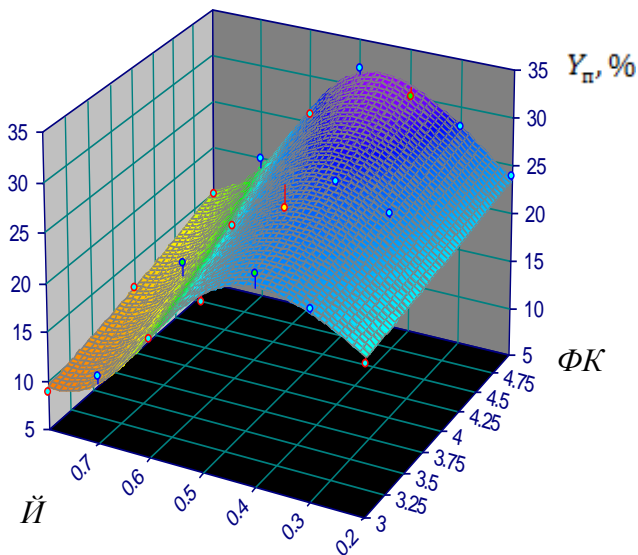


Рис. 8. Зміна піноутворювальної здатності від фактору концентрування і частки йогуртної основи в суміші.

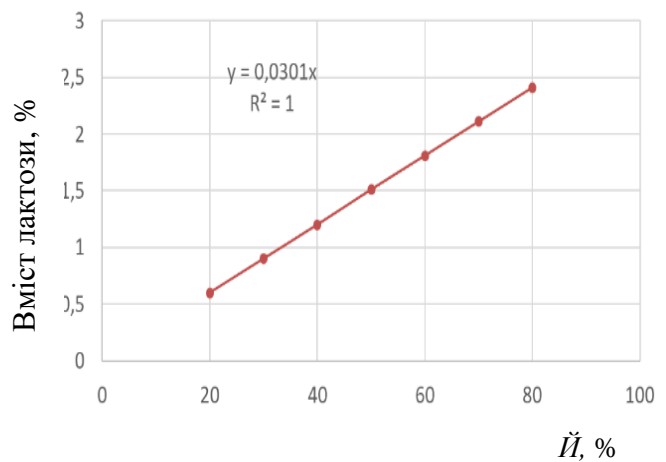


Рис. 9. Вміст лактози в залежності від частки йогуртної основи в суміші.

Таблиця 10

Оптимальна рецептура на морозиво низьколактозне

Сировина	Маса, кг на 1000 кг морозива
Рідкий ББКМ, отриманий діафільтрацією (DV=7) УФ концентрату при ФК=5	484,7
Порошок інуліну (СР=95,8 %)	36,9
Порошок лактулози (СР=99,2 %)	10,0
Цукор пісок	130,0
Стабілізаційна система	2,0
Порошок імбиру	3,0
Йогуртна основа (Й)	331,9
Лимонна кислота кристалічна	1,5
Всього	1000,0

Фізико-хімічні, мікробіологічні показники низьколактозного йогуртового морозива

Показники	Дослідний зразок	Класичне йогуртове морозиво
Фізико-хімічні показники:		
Кислотність, °Т	56	60
Масова частка жиру, %	1,28±0,1	3,51±0,1
Масова частка сахарози, %	12,8±0,05	15,0±0,05
Масова частка лактози, %	0,99±0,06	5,67±0,06
Масова частка білку, %	10,11±0,05	3,74±0,05
Збитість, %	92	72
Опір таненню, хв	49	42
Мікробіологічні показники:		
Найбільш вірогідне число молочнокислих мікроорганізмів, КУО/см ³	(2,5±0,9)·10 ⁸	1,0·10 ⁷
Кількість біфідобактерій, КУО/см ³	(3,0±0,2)·10 ⁹	–
Плісняві гриби, КУО/см ³	Не виявлено	Не виявлено
Дріжджі, КУО/см ³	Не виявлено	Не виявлено
Бактерії групи кишкових паличок в 0,1 см ³ продукту	Не виявлено	Не виявлено

Морозиво виробляли за традиційною технологією. Рекомендована температура фризеравання мінус 2,0...мінус 3 °С.

Смак та запах одержаного низьколактозного морозива – гармонійний, відчутний імбирний, м'який кисло-солодкий смак, «вершковий» післясмак. Колір – світло-кремовий з вкрапленнями імбиру, однорідний за всією масою. Структура та консистенція – однорідна, кремоподібна за всією масою морозива, без відчутних кристалів льоду, цукру, грудочок жиру та стабілізатора, з достатньою густиною та збитістю.

Масова частка сахарози в зразках низьколактозного морозива складає 12,8 %, вміст лактози 0,99 %, що менше в порівнянні з класичним йогуртовим морозивом (табл. 11). Високий вміст в низьколактозному морозиві лакто- (2,5·10⁸ КУО/г) і біфідобактерій (3·10⁹ КУО/г) свідчить про високу пробіотичну дію. Антиоксидантна активність зразків низьколактозного морозива складає 330...345 у.о., що в 3,0...3,1 рази вища у порівнянні з класичним молочним йогуртовим морозивом. За показниками розміру кристалів льоду, розміру повітряних пухирців, збитістю та опором таненню низьколактозне морозиво якісно відрізняється від класичного.

Термін зберігання низьколактозного синбіотичного йогуртового морозива 180 діб при температурі мінус 26...мінус 28 °С гарантує стабільність основних показників якості та високий вміст корисної мікрофлори.

На нові види низьколактозного синбіотичного йогуртового морозива розроблений проект нормативної документації – ТУ У та ТІ до ТУ У.

Проведено промислову апробацію дослідних партій низьколактозного синбіотичного йогуртового морозива на основі безлактозного білково-ліпідного концентрату маслянки в умовах СПД Дьякончук (м. Одеса). Проведені економічні розрахунки засвідчили, що виробництво низьколактозного

синбіотичного йогуртового морозива на основі безлактозного білкового концентрату маслянки дозволить отримати від 3391,5 до 3655,2 грн. додаткового прибутку на 1 т морозива.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ

За результатами теоретичних та експериментальних досліджень науково обґрунтована доцільність і технологічна можливість виробництва безлактозного білково-ліпідного концентрату маслянки із заданим складом нутрієнтів на основі мембранних процесів видалення лактози і використання його при виробництві синбіотичного йогуртового низьколактозного морозива та зроблені наступні висновки:

1. Встановлена доцільність використання ультрафільтрації для концентрування білково-ліпідної фракції маслянки та її діафільтрація НФ пермеатом для видалення лактози при умові належного вибору НФ мембран, що забезпечують високу селективність за лактозою.

2. Розроблена прикладна методика розрахунку для оцінки ефективності процесу діафільтрації маслянки, яка дозволяє оцінити основні показники ефективності процесу: тривалість процесу, об'єм розчинника (діафільтраційний об'єм) і ступінь очищення від лактози; визначений оптимальний варіант діафільтрації – безперервний з перехресним потоком НФ пермеату: тривалість процесу – 4,8 год., діафільтраційний об'єм – 384 дм³ на вихідні 10 дм³ концентрату маслянки, кінцева концентрація лактози після очищення – 0,15 %.

3. Визначений фактор концентрування при ультрафільтрації, що становить $\Phi K=5$, при якому можливо максимально сконцентрувати білково-ліпідну фракцію маслянки.

4. Визначені основні характеристики НФ мембран марки ОПМН: питома продуктивність за фільтратом $G = 15 \text{ дм}^3/\text{м}^2 \times \text{год.}$ при тиску 1,0...2,0 МПа; селективність за лактозою $R = 99,7 \%$; за мінеральними солями $R = 0 \%$, що забезпечують використання НФ пермеату як розчинника при діафільтрації.

5. Досліджений процес безперервної діафільтрації УФ ретентату маслянки. Встановлено основні фактори, які впливають на процес діафільтрації: проникність мембран, їх селективність, діаоб'єм, осмотичний тиск розчину.

6. Розроблена технологія безперервного одержання безлактозного білково-ліпідного концентрату маслянки та установка для її реалізації, що містить сполучені між собою технологічними трубопроводами контури: ультрафільтрації, діафільтрації, нанофільтрації. Установка забезпечить безперервність процесу через певні співвідношення витрат потоків: УФ ретентату і ДФ ретентату; НФ пермеату і УФ пермеату; НФ ретентату і УФ пермеату (II); НФ пермеату і УФ ретентату.

7. Обґрунтовані режими пастеризації, сушіння і зберігання безлактозного білково-ліпідного концентрату маслянки, досліджено вплив режимів на показники якості концентрату.

8. Розроблені науково-обґрунтовані рецептури і технологія низьколактозного синбіотичного йогуртового морозива на основі безлактозного концентрату маслянки з підвищеними функціональними властивостями.

9. Розроблено нормативну документацію на безлактозні білкові концентрати сухі (ТУ У 15.5-36759161-009:2019 та ТІ до ТУ У), рідкі (ТУ У 15.5-36759161-008:2019 та ТІ до ТУ У) та проект документації на низьколактозне синбіотичне йогуртове морозиво (ТУ У та ТІ до ТУ У). Розроблені технології безлактозних концентратів пройшли промислову апробацію на ТОВ «ТЕРРА ФУД» Тульчинська філія (м. Тульчин, Вінницька область), розроблена технологія низьколактозного синбіотичного йогуртового морозива – на СПД Дьякончук (м. Одеса). Впровадження технологій у виробництво дозволить отримати чистий прибуток в сумі 3870,15 тис. грн., що окупить необхідні для впровадження капітальні вкладення в розмірі 22295,5 тис. грн. протягом 2,93 років, що є економічно ефективним.

ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ

1. Bondar S., Trubnikova A., Chabanova O., Sharahmatova T. Analysis of a new diafiltration method of cleaning buttermilk from lactose with mineral composition preserved. Харчова наука та технологія, 2018, Т. 12, №. 1, С. 90–98. DOI: <http://dx.doi.org/10.15673/fst.v12i1.839>.

2. Бондар, С.М., Трубнікова А.А., Чабанова О.Б. Дослідження мембранного процесу видалення лактози з концентрату маслянки. НВ ЛНУ ветеринарної медицини та біотехнологій. Серія: Харчові технології, 2018, 20(85), С. 62–69. doi: 10.15421/nvlvet8512

3. Бондарь С.Н., Трубникова А.А., Чабанова О.Б. Повышение эффективности газообмена при аэробной обработке нанопольтрационных продуктов из пахты. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки, 2018, Том 29 (68), Ч. 3, № 1, С.30–36.

4. Трубникова А. А. Контроль и управление непрерывным процессом мембранного удаления лактозы из пахты. Вісник НТУ «ХП», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. Харків: НТУ «ХП» 2018, № 16 (1292), С. 177–183. doi:10.20998/2413-4295.2018.16.26

5. Трубнікова А.А., Шарахматова Т.Є., Мамінтова К. О., Цупра О.С. Біотехнологічні аспекти отримання йогуртної основи для виробництва низьколактозного морозива. Вісник НТУ «ХП», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. Харків: НТУ «ХП», 2018, № 9 (1285), С. 243-255. doi:10.20998/2413-4295.2018.09.35.

6. Трубнікова А.А., Чабанова О.Б., Шарахматова Т.Є., Бондар С.М. Обґрунтування режимів зберігання низьколактозного морозива. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки, 2018, Том 29 (68), № 5, С. 47–53.

7. Трубнікова А.А., Чабанова О.Б., Шарахматова Т.Є., Бондар С.М.. Обґрунтування режимів зберігання сухого безлактозного білково-ліпідного концентрату маслянки. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки, 2019, Том 30 (69), № 3, С. 57–68.

8. Трубнікова А.А., Чабанова О.Б., Шарахматова Т.Є., Бондар С.М., Савчак Є.М. Розробка технології низьколактозного морозива на основі безлактозного концентрату маслянки. Вісник НТУ «ХП», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. Харків: НТУ «ХП», 2018, №. 45 (1321), С. 214–227. doi:10.20998/2413-4295.2018.45.30

9. Трубнікова А.А., Чабанова О.Б., Бондар С.М., Шарахматова Т.Є. Одержання сухого безлактозного білково-ліпідного концентрату маслянки. Вісник НТУ «ХП», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. Харків: НТУ «ХП», 2019, №. 45 (1321), С. 214–227. doi:10.20998/2413-4295.2017.12.01.

10. Худенко Н.П., Трубнікова А.А., Чабанова О.Б., Бондар С.М., Шарахматова Т.Є. Кореляційно-регресійний аналіз рецептурних складових низьколактозного морозива. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки, 2019, Том 30 (69), № 3, С. 117–125.

11. Патент 135282UA на корисну модель, МПК А 23 G 9/04 (2006.01). Спосіб виробництва низьколактозного морозива. С.М. Бондар, А.А. Трубнікова, О.Б. Чабанова, Т.Є. Шарахматова, К.О. Мамінтова, І.О. Климентьєва. № у 201900440; заявл. 16.01.19; опубл. 25.06.19, бюл. № 12/2019.

12. Патент 135571UA на корисну модель, МПК А 23 С 9/04 (2006.01). Установка для безперервного одержання молочного безлактозного білково-ліпідного концентрату. С.М. Бондар, А.А. Трубнікова, О.Б. Чабанова, Т.Є. Шарахматова, В.А. Трубніков. № у 2019 00437; заявл. 16.01.19; опубл. 10.07.19, бюл. № 13/2019.

13. Патент 135572UA на корисну модель, МПК А 23 G 9/04 (2006.01). Спосіб виробництва м'якого низьколактозного морозива. С.М. Бондар, А.А. Трубнікова, О.Б. Чабанова, Т.Є. Шарахматова, К.О. Мамінтова, І.О. Климентьєва. № у 2019 00443; заявл. 16.01.19; опубл. 10.07.19, бюл. № 13/2019.

14. Патент 121543UA на корисну модель, МПК (2017): A23G 9/32, A23G 9/40, A23G 9/42, A23G 9/04 (2006.01). Суміш для виробництва морозива. Т.Є. Шарахматова, А.А. Трубнікова. № у 2017 05830; заявл. 12.06.2017; опубл. 11.12.2017, бюл. №23/2017.

15. Позитивне рішення про видачу деклараційного патенту на корисну модель № 15348/ЗУ/19 від 19.06.2019 р.; МПК А 23 С 9/04 (2006.01). Спосіб для безперервного одержання молочного безлактозного білково-ліпідного концентрату. С.М. Бондар, А.А. Трубнікова, О.Б. Чабанова, Т.Є. Шарахматова, В.А. Трубніков. № у 2019 00444; заявл. 16.01.19.

16. Trubnikova A., Chabanova O., Sharahmatova T., Bondar S., Vikul S. Grounding and Development of Low-Lactose Biologically Active Milk Ice Cream Formula. Path of Science: International Electronic Scientific. Traektoriâ Nauki= Path of Science, 2018, Vol. 4, No 9, P. 3001–3021. <http://pathofscience.org/index.php/ps/article/view/544>. DOI 10.22178/pos.38-7

17. Трубнікова А.А. Розроблення технології безлактозного білкового концентрату маслянки із заданим складом нутрієнтів. Збірник тез доповідей 79 наукової конференції викладачів академії, (Одеса, 16–19 квіт. 2019 р.), Одеська нац. акад. харч. технологій. Одеса. ОНАХТ, 2019, С. 104–105.

18. Кирилов В.Х., Трубнікова А.А. Факторний і регресійний аналіз рецептурних складових низьколактозного морозива. Збірник тез доповідей 79 наукової конференції викладачів академії., (Одеса, 16–19 квіт. 2019 р.) Одеська нац. акад. харч. технологій. Одеса: ОНАХТ, 2019, С. 107–109.

19. Трубнікова А.А., Чабанова О.Б., Шарахматова Т.Є. Одержання сухого безлактозного білково-ліпідного концентрату маслянки. Збірник тез доповідей 79 наукової конференції викладачів академії, (Одеса, 16–19 квіт. 2019 р.), Одеська нац. акад. харч. технологій. Одеса. ОНАХТ, 2019, С. 105–107.

20. Бондар С.М., Чабанова О.Б., Трубнікова А.А., Мамінтова К.С. Отримання безлактозного концентрату. Збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції «Технології харчових продуктів і комбікормів», (Одеса, 25–30 вересня 2017 р.) Одеська нац. акад. харч. технологій. Одеса. ОНАХТ, 2017, С. 64–66.

21. Шарахматова Т.Є., Трубнікова А.А. Цукрозамінники в харчовій промисловості. Програма і матеріали п'ятої міжнародної науково-технічної конференції «Перспективи розвитку м'ясної, молочної та олієжирової галузей у контексті євроінтеграції», (7–8 листопада 2016 р.), Нац. універс. харч. техн. Київ, НУХТ, 2016 р., С. 96–97.

22. Шарахматова Т.Є., Трубнікова А.А. Дослідження параметрів гідролізу лактози ферментними препаратами β-галактозидази. The international research and practical conference «The development of technical sciences: problems and solutions», (Brno, Czech Republic, april 27–28 2018), ENAI, Brno, 2018, P. 97.

23. Трубнікова А.А., Чабанова О.Б., Шарахматова Т.Є. Обґрунтування та розробка рецептур безлактозного молочного збивного десерту. International Multidisciplinary Conference «Science and Technology of the Present Time: Priority Development Directions of

Ukraine and Poland», (Wolomin, Republic of Poland, 19–20 October 2018). Volume 2. Wolomin: Izdevnieciba «Baltija Publishing», Wolomin, 2018, P. 128–130.

24. Бондар С.М., Трубнікова А.А., Чабанова О.Б., Шарахматова Т.Є. Діафільтраційне очищення ультрафільтраційного концентрату маслянки від лактози. Збірник тез доповідей 78 наукової конференції викладачів академії, (Одеса, 23–27 квіт. 2018 р.), Одес. нац. акад. харч. технологій; Одеса, 2018, С. 101–103.

25. Трубнікова А.А., Шарахматова Т.Є. Разработка рецептур низколактозного мороженого. Збірник матеріалів XI Всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених та студентів з міжнар. участю «Проблеми формування здорового способу життя у молоді», (Одеса, 4–6 жовт. 2018 р.), Одес. нац. акад. харч. технологій, Одеса, 2018, С. 137–139.

Особистий внесок автора:

1) проведення літературного пошуку, участь у дослідженнях, аналіз і узагальнення результатів, підготовка матеріалів до публікації (поз. 1–3).

2) Організація та участь у експериментальних дослідженнях, обробка даних і підготовка їх до друку (поз. 4–10, 16–25).

3) проведення патентного пошуку, здійснення порівняльного аналізу існуючих аналогів, узагальнення та систематизація результатів, підготовки заявки на патент (поз. 11–15).

Автор висловлює щиро подяку к.т.н., доценту кафедри екології та природоохоронних технологій ОНАХТ **Бондарю Сергію Миколайовичу** за допомогу, консультації, цінні поради при виконанні дисертаційної роботи.

АНОТАЦІЯ

Трубнікова А.А. Розроблення безлактозного концентрату маслянки із заданим складом нутрієнтів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.18.04 – технології м'ясних, молочних продуктів і продуктів з гідробіонтів. – Одеська національна академія харчових технологій, Одеса, 2019.

У дисертаційній роботі представлені результати досліджень щодо розроблення технології виробництва безлактозного білково-ліпідного концентрату маслянки із заданим складом нутрієнтів (білків, ліпідів, лактози, мінеральних речовин) на основі мембранних процесів видалення лактози та використання отриманого концентрату як основного компоненту при виробництві низьколактозного синбіотичного йогуртового морозива.

Визначений фактор концентрування при ультрафільтрації маслянки, при якому можливо максимально сконцентрувати білково-ліпідну фракцію маслянки. Досліджений процес діафільтраційного очищення від лактози УФ ретентату маслянки НФ пермеатом, що отриманий нанофільтрацією УФ пермеату маслянки та результати досліджень використані при розробці методики розрахунку оцінки ефективності процесу діафільтрації. Розроблений спосіб для безперервного одержання безлактозного білково-ліпідного концентрату маслянки та установка для його здійснення, що підтверджено патентами України. Отримані експериментальні дані хімічного складу маслянки та її продуктів УФ, ДФ, НФ. Розроблено технології і технологічні схеми виробництва рідкого і сухого безлактозного білково-ліпідного

концентрату маслянки. Обґрунтовані технологічні режими і режими зберігання. Розроблена технологія низьколактозного синбіотичного йогуртового морозива на основі безлактозного концентрату маслянки. Запропоновано нормативну документацію на концентрати білкові молочні безлактозні рідкі і сухі та низьколактозне синбіотичне йогуртове морозиво. Проведено промислову апробацію розроблених технологій. Визначено економічний ефект від впровадження розроблених технологій.

Ключові слова: маслянка, ультра-, діафільтрація, нанофільтрація, НФ пермеат, безлактозний білково-ліпідний концентрат, технологія, зберігання, сушіння, показники якості, низьколактозне морозиво.

ANOTATION

Trubnikova A. Development of free-lactose protein-lipid concentrate of the buttermilk with a given nutrient composition. – Qualification scientific work on the rights of the manuscript.

Thesis for the degree of Candidate of Technical Sciences in specialty 05.18.04 – meat, dairy and hydrobiont technology. – Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, 2019.

The dissertation presents the results of researches on the development of technology for the production of lactose-free protein-lipid concentrate of buttermilk with a given nutrient composition on the basis of membrane processes of lactose removal and use of the obtained concentrate as the main component in the production of low-lactose yogurt ice cream.

The concentration coefficient was established during UF filtration, which is equal to $FC = 5$, at which it is possible to maximize the concentration of protein-lipid fraction of buttermilk. Membrane treatment of buttermilk concentrate by diafiltration is an effective method for removing lactose. If NF permeate is used as a buffer for diafiltration, the lactose content of retentate can be adjusted. Purification of buttermilk concentrate obtained by ultrafiltration of buttermilk from lactose was investigated. Purification was performed by dia-filtration. The solvent was NF permeate obtained by nanofiltration of the buttermilk UF permeate. The nanofiltration of UF buttermilk permeate was carried out at a pressure range of 0.5 ... 2.0 MPa. From 0.5 to 1.5 MPa linear dependence of specific productivity on pressure at temperature 20 ... 22 °C is established. At concentration factor $F = 4$ in the retentate of nanofiltration 17.9 % of lactose was observed, and in NF permeate 0.05 % with the same concentration of salts of 0.7 %. With continuous diafiltration of the UF retentate of the buttermilk, an increase in the membrane's productivity was observed with increasing temperature to 8.2 ... 10 l/m² h. The lowest concentration of lactose (0.01 %) in the UF retentate was observed with the use of a sevenfold volume of NF permeate as a solvent. The effect of lactose removal was 99.8 %. The results of the studies have shown that the combination of ultrafiltration and continuous diafiltration with NF permeate gives the desired result of the removal of lactose from the buttermilk concentrate. The best parameters of the research process were a pressure of 1.5 MPa and a temperature of 50 °C. The research results were used to

develop a method for calculating the evaluation of process efficiency. A method for continuous production of free-lactose protein-lipid concentrate and installation for its realization have been developed. Continuity of membrane removal of lactose is achieved by a certain combination of UF, DF and NF treatment. The aim of these studies is to study the possibility of organizing continuous membrane removal of lactose from buttermilk and developing an appropriate installation scheme. In the course of the experiments it was determined that the UF membranes of the VPU-15000 are suitable for UF and DF. Their selectivity for lactose is $R = 1 \%$. The NF membrane of the OPMN brand has a high ($R = 99.7 \%$) selectivity for lactose and a low selectivity for mineral content. This allows them to be used to produce permeate, which is used as a buffer solution. Experimental data were obtained on the chemical composition of buttermilk and its products UF, DF, NF, amino acid composition of proteins, antioxidant activity, fatty acid composition for the evaluation of the biological and nutritional value of lactose-free protein-lipid concentrate of buttermilk. The concentrate has a high content of solids, has a high biological value (there is no amino acid limit in buttermilk and concentrate) and antioxidant activity of 315 ... 330 conventional units, which is 1.2 ... 1.6 times higher than in buttermilk. A technologies for the productions of liquid and dry lactose-free protein-lipid concentrate of buttermilk has been developed. Grounded modes and methods of storage. Dry lactose-free protein-lipid concentrates of buttermilk with high protein content (80.54... 81.19 %) provide improvement of protein component without addition of lactose to food products (mass fraction of lactose not more than 0.064%).

The work substantiates the choice of leaven for the production of yoghurt base as a component of low-lactose ice-cream, researches of technological properties of the yoghurt base for production of low-lactose ice-cream are presented. The sources of information on the use of microorganisms that are most active in the production of lactase enzyme in the production of yogurt base are analyzed, and the choice of composition of micro-biological cultures based on β -galactosidase activity is substantiated. The possibility of using a buttermilk with an increased mass fraction of dry matter as the main component of a mixture of ice cream is studied. A rational concentration of dry lactose-free protein-lipid buttermilk concentrate, which is part of the base of yogurt (5.0% of its weight), has been established. The process of fermentation of the milk basis of DVS cultures (YF-903 + La-5 + Bb-12) was investigated. For the production of synbiotic yogurt ice cream with a low lactose content, the optimal ratio of lactose-free protein concentrate from buttermilk (BBKM) and the laboratory basis of yogurt (J), which is BBKM / J, is 59.4 / 40.6. Prescription components were established for the production of synbiotic yogurt ice cream with a low content of lactose, the mass fractions of which were: inulin – 3.69 %; lactulose – 1 %; ginger – 0.3 %; citric acid – 0.15 %; stabilizer – 0.2 %. The lactose content in the test sample of the ice cream mixture was 0.99 %, antioxidant activity was 3.1 times higher than that of traditional yogurt ice cream. A high amount of lactose (2.5×10^8) and bifidobacteria (3×10^9) CFU in ice cream with a low lactose content indicates a high probiotic activity. The shelf life of synbio-tic yogurt ice cream with a low content of lactose is 180 days at a temperature of minus 26 ... minus 28 ° C.

A draft of normative documentation for liquid concentrates of lactose-free milk protein-lipid and dry of lactose-free milk protein-lipid concentrates has been developed. Implementation of scientific and technical developments through the release of industrial batches and of new products was carried out in the production conditions of industrial enterprises of the Tulchin branch of TERRA FOOD LLC (Tulchyn, Vinnytsia region) and SPD Diaconchuk (Odessa).

Keywords: buttermilk, ultra-, diafiltration, nanofiltration, NF permeate, lactose-free protein-lipid concentrate, technology, storage, drying, quality indicators, low-lactose ice cream.

Підп. до друку 04.11.2019. Формат 60×90¹/₁₆. Папір. офс. Гарнітура “Таймс”. Друк. офс.
Ум. друк. арк. 0,9. Обл.-вид. арк. 0,9. Наклад 100 прим. Зам. 638.

Віддруковано у ТОВ-Видавництві “ЛОГОС” із оригіналів автора.
Свідоцтво про внесення суб’єкта видавничої справи Державного реєстру видавців,
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції серія ДК № 201 від 27.09.2000 р.
01030, Київ-30, вул. Богдана Хмельницького, 10, тел. 235-60-03