

Розробка полікомпонентної композиції смузі за допомогою біотехнологічного і математичного моделювання та визначення його харчової цінності

Н. А. Дзюба, С. О. Поплавська, Г. І. Палвашова, О. О. Ємонакова,
Л. Л. Івашина, Т. О. Колісниченко, К. А. Сефіханова, Г. В. Новік,
Т. Ю. Суткович

Визначено показники амінокислотного СКОРу білкової системи, що представляє собою розчини різної концентрації гідролізату колагену у молочній сироватці (2 %, 4 %, 6 %). Показано, що всі розчини мають збалансований вміст незамінних амінокислот. Однак для досліджень вибрано харчову систему, що має концентрацію гідролізату колагену 4 %, що забезпечить добову потребу організму людини.

Досліджено піноутворення вуглеводно-білкової системи в залежності від співвідношення пектину яблучного та гідролізату колагену в молочній сироватці (0,5:1; 1:1; 1:0,5). Збивання проводили при температурі 10 °С в продовж 60 секунд. Отримані дані виявили оптимальне співвідношення основної вуглеводно-білкової сировини: концентрація гідролізату колагену 4 %, співвідношення пектин:гідролізат колагену 1:0,5.

За допомогою математичного моделювання розроблена рецептура аерованого смузі на основі молочної сироватки, фруктового соку, пектину яблучного та гідролізату колагену з підвищеним вмістом макронутрієнтів. Аналіз споживчої цінності розробленого продукту показав, що вміст основних макронутрієнтів склав 22,64 г на порцію (200 г) або 11,32 г на 100 г. Співвідношення основних мінеральних речовин кальцію, магнію та фосфору дорівнює 1:0,11:0,6. Аналіз амінокислотного СКОРу показав, що розроблений продукт має високий ступінь засвоюваності незамінних амінокислот, що пов'язано з відсутністю лімітуючої амінокислоти, СКОР якої менший ніж 100 %.

Визначення біологічної активності показало, що для готового смузі біологічна активність в середньому в 8,1 разів вища ніж у його складових, що свідчить про синергізм речовин антиоксидантної дії.

Оцінка сенсорних показників розробленого смузі показала високі якісні характеристики нового продукту, що є важливим для продукції закладів ресторанного господарства. Загальна оцінка за сенсорними показниками становить 33,8 бали з 35 можливих балів

Ключові слова: математичне моделювання рецептур продуктів, показники якості, аеровані напої, гідролізат колагену, піноутворення, харчові піни

1. Вступ

У вирішенні проблеми забезпечення населення продуктами харчування збалансованого складу провідна роль належить виробництву харчових продуктів. У складі таких продуктів об'єднується як рослинна так і тваринна сировина,

що дозволяє створювати продукти підвищеної харчової та біологічної цінності, функціонального, дієтичного та профілактичного спрямування.

Як відомо, важлива роль в раціональному харчуванні належить білкам тваринного походження. За даними науково-дослідного інституту харчування та інших науково-медичних державних установ, за останні 10 років в раціоні українців виявлено недолік білків, що містить незамінні амінокислоти [1].

Використання молочної сироватки для виробництва продуктів харчування зумовлено її багатокomпонентним біологічно-повноцінним складом. Комбінування молочної сировини з фруктово-ягідними наповнювачами, що є джерелами вітамінів, макро- та мікроелементів, з використаних харчових волокон дозволяє отримати нові молоковмісні продукти дієтичного та профілактичного харчування різної текстури з привабливими показниками для споживача.

Слід зазначити, що розробка технологій молоковмісних продуктів дієтичного та профілактичного харчування з харчовими волокнами є перспективним напрямком в індустрії виробництва продуктів у закладах ресторанного господарства. Вона повинна ґрунтуватись на знаннях про раціональне і збалансоване харчування, що в свою чергу приведе до підвищення якості життя людей різних груп населення.

Незважаючи на широкий інтерес до поставленої проблеми, на даний час асортимент молоковмісних продуктів з використанням тваринних білків і харчових волокон не великий.

При розробці молоковмісних продуктів з харчовими волокнами необхідно дослідження відносно вивчення асоціативних взаємодій в системі біополімерів: білок-полісахарид.

Розробка інноваційних молоковмісних аерованих продуктів з використанням харчових волокон та тваринних білків, є актуальною.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Протягом останніх років на ринку напоїв відбулися суттєві зміни та нововведення, оскільки новий спосіб життя людей значно впливає на здоров'я. Споживачі очікують, що оператори ринку з виробництва напоїв будуть пропонувати продукти зі значними перевагами – з високим вмістом нутрієнтів, оскільки вони є прийнятним транспортом для нутрицевтиків та біологічно активних речовин.

Напої на основі молочної продукції, напої на основі сої, фруктових або овочевих соків, коктейлі, спортивні, відновлювальні та енергетичні напої можуть виступати джерелами всіх необхідних нутрієнтів для організму сучасної людини. Під час включення фортифікаторів до цих напоїв, розчинність, біодоступність, рН, температура, світло- та термостабільність інгредієнтів, колір та аромат готового напою є основними показниками якості [2].

Молочна сироватка часто використовується в якості основи для готових до вживання білкових напоїв. Завдяки білку молочної сироватки такі напої мають високі показники якості, м'який смак, легкість засвоєння та унікальну функціональність. У сфері продуктів харчування та напоїв поширилися п'ять загальних тенденцій: зручність, задоволення, етнічний склад, традиції та, що важливо, здоров'я.

Сироваткові білки можуть проявляти антиоксидантну активність. Досліджено напої на основі молочної сироватки з високими антиоксидантами показниками, обумовленими наявністю рослинних поліфенолів, вітамінів та астаксантину. Дослідження антиоксидантної активності напоїв під час зберігання проводили за допомогою ABTS, FRAP (наявність заліза, що знижує енергію антиоксидантів) та ORAC (ємність поглинання радикалів кисню). Поєднання сироватки з додатковими антиоксидантними інгредієнтами підвищило біоактивність продуктів [3]. Однак в роботі не було проведено дослідження щодо зміни антиоксидантної активності окремих рецептурних компонентів та їх вплив на загальний показник антиоксидантної активності. При введенні рослинної сировини не досліджували, яким чином вона впливає на реологічні властивості, що є важливим сенсорним показником, як під час технології виготовлення напоїв так і під час зберігання.

Напої на основі сироватки зазвичай поділяються на чотири основні типи:

- суміші сироватки (оброблена або необроблена, включаючи пермеати з фруктовими або овочевими соками);
- «густі» напої молочного типу (ферментовані або неферментовані);
- газовані напої, напої що втамовують спрагу і алкогольні напої (пиво, вино або лікери) [4].

Розроблено напої на основі сироватки, отриманої в процесі виробництва сиру твердого та кисломолочного, а також ретентанту, отриманого шляхом концентрування сироватки методом нанофільтрації. В рецептурах напоїв використовували соки (пюре) прямого віджиму «Яблуко-груша» та «Полуниця-вишня», які не містили цукру. Отримані напої в середньому мали енергетичну цінність 20,9 ккал у напоях на основі молочної сироватки та 65,1 ккал у напоях на основі ретентату [5]. В дослідженні рецептури напоїв склали враховуючи лише смакові показники, не приймаючи до уваги зміну консистенції за рахунок пектинових речовин грушового, яблучного, вишневого та полуничного пюре.

Для розробки рецептур і технологій пектинмісних напоїв було вивчено вплив виду і концентрації пектинових речовин на пробіотичні властивості напоїв [6]. В якості пектинової добавки використовували сухий пектин Уніпектин ОВ 700 та пектиновий яблучний екстракт виробництва «SunLand» (Угорщина). Було досліджено динаміку накопичення біомаси молочнокислими культурами. За допомогою математичного моделювання розроблено рецептури напоїв зі збалансованим мікронутрієнтним складом. Однак автори в даному дослідженні не показали вплив пектинмісних добавок на реологічні показники готового напою та їх зміну під час зберігання.

Було проведено дослідження щодо впливу додавання ксилоолігосахариду (XOS, 1,25 г/100 мл) на рН, фізико-хімічний склад, функціональні властивості, летючий профіль, реологічні властивості та сенсорне сприйняття ароматизованого полуничного напою на основі сироватки [7]. Додавання полісахариду призводило до отримання напоїв з високою антиоксидантною активністю, підвищеною в'язкістю, покращення летючого профілю. Однак не вирішеним питанням залишилось визначення динаміки синерезису готових напоїв в продовж зберігання.

При виготовленні напоїв використовували пробіотичні культури *Lactobacillus acidophilus* LA-5 або *Bifidobacterium animalis* ssp. *Lactis* BB-12 [8]. В рецептуру напоїв входили пастеризована кислотна сироватка з молоком, не-солодким згущеним молоком або знежиреним молочним порошком. Продукти зберігали в холодильних умовах (5 ± 1 °C) протягом 21 дня. Отримані дані показали, що сироваткові напої є добрим середовищем для пробіотичних бактерій; кількість бактерій протягом періоду зберігання перевищувала 10^8 КУО/мл, що значно перевищує мінімальну терапевтичну дозу. Однак не було досліджено зміну амінокислотного профілю напоїв під час сквашування.

Досліджено вплив додавання високометоксильованого пектину та карбоксиметилцелюлози з різними комбінованими співвідношеннями на стійкість підкислених знежирених молочних напоїв та напоїв із незбираного молока [9]. Результати експериментів показали, що стабільність напоїв покращувалася, коли кількість полімерних полісахаридів збільшувалась у співвідношенні полісахаридів, підкреслюючи важливість молекулярних властивостей полісахаридів. Однак автори при підборі співвідношення полісахаридів не надали значної уваги щодо їх комбінації та впливу на органолептичні та реологічні властивості готових продуктів.

Високометаксильований пектин був використаний для стабілізації кисломолочних напоїв для запобігання флокуляції молочного білка. Діаметр частинок, в'язкість і осідання, а також в'язкопружні властивості використовувались для оцінки кількості пектину, необхідного для стабілізації напоїв. Дослідження показало, що певна кількість пектину була міцно незворотно пов'язана з казеїновими агрегатами, що дало можливість стверджувати про утворення багатошарового шару пектину на казеїнових агрегатах [10]. Однак невирішеним питанням залишилось визначення стійкості отриманих напоїв в продовж зберігання.

Досліджено вплив апельсинових волокон, багатих пектином, на реологічні, сенсорні та трибологічні властивості йогуртових гелів [11]. Більш конкретно, оцінюється ефект розміру частинок волокна (грубої та тонкої) та концентрації волокон (0,1 та 1,0 %). Додавання волокна викликає зміни в сенсорному сприйнятті. Трибологічні дані показують, що підвищене тертя пов'язане в основному зі зниженою здатністю йогурту з грубими волокнами іммобілізувати воду при великій деформації і що білкова (казеїнова) мережа домінує у властивостях змащування у звичайному йогурті. Додавання апельсинових волокон проводили лише враховуючи трибологічні дані, але не було враховано рекомендації дієтологів щодо кількості харчових волокон у добовому раціоні.

Сироватку, отриману при виробництві сиру Чеддар та паніру використовували для отримання напою із сироваткою на лимонній основі [12]. Лактоза, присутня в сироватці, гідролізувалася ферментом Maxilact L-2000 лактази. Найбільш прийнятний напій був при використанні лимонної основи, яка містила 8, 4, 0,1 та 0,05 % цукру, лимонного соку, аромату лимона та карбоксиметилцелюлози відповідно. При виробництві напою значну увагу приділили його реологічним показникам, але дослідження не показало як змінюються сенсорні та реологічні показники напоїв при різних співвідношеннях молочної сироватки та лимонної основи.

Таким чином, незважаючи на сучасні дослідження в галузі технологій напоїв, залишаються невирішеними питання щодо створення готових продуктів зі збалансованим нутрієнтним складом. З точки зору технології є проблемні питання покращення процесу аерування молочно-рослинних сумішей з метою отримання напоїв зі збитою структурою та збагачених активним киснем. Для виробництва напоїв широко використовуються рослинна сировина багата на структуроутворюючі полісахариди, однак проблемним питанням залишається вивчення їх дії на реологічні показники напоїв при різних технологічних режимах виробництва та зберігання. При виробництві конкурентоспроможних напоїв необхідно, щоб вони за нутрієнтним складом задовільняли потреби сучасної людини та відповідали вимогам нутріціології.

Тому є актуальним розробка комплексного підходу до розробки аерованих напоїв, враховуючи вплив гідроколоїдів на реологічні показники під час виробничого процесу та під час зберігання. Також комплексний підхід до виробництва напоїв повинен включати моделювання рецептур згідно вимог дієтологів та нутріціологів.

3. Мета і завдання дослідження

Метою дослідження є розробка композиції аерованого смузі з підвищеним вмістом сухих речовин.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- обґрунтувати вибір сировини для виробництва аерованих смузі;
- провести математичну оптимізацію композицій аерованих смузі;
- дослідити харчову та енергетичну цінність, антиоксидантну активність нового продукту;
- дослідити сенсорні показники готового продукту в умовах виробництва.

4. Матеріали і методи розробки композиції смузі

Дослідження проводилися на базі:

- консалтингової лабораторії здорового харчування (м. Одеса, Україна);
- науково-дослідної лабораторії мікробіологічних досліджень ім. О. А. Кириленко (м. Одеса, Україна).

Для проведення досліджень використовували наступне обладнання:

- для приготування смузі: блендер (PHILIPS HR-1633/80, Китай), холодильну шафу (ШХ-0,4 МС, Республіка Марій Ел, Росія), ванну мийну і електричні ваги (Rotex RSK 10-P, Китай);
- для визначення антиоксидантної активності – фотоколориметр КФК-2МП (оптико-механічний завод виробниче об'єднання «ЗОМЗ», ССРСР);
- для визначення амінокислотного складу: іонообмінний рідинний хроматограф Hitacthi 835 (Японія);
- мікроскопування зразків проводили за допомогою мікроскопа Біолам Р15 (Lomo, Росія) з цифровою камерою-окуляром ScopeTek DCM-130 E 1.3 E 1.3 Мр (Hangzhou Scopetek Opto-Electric Co., Китай) [13].

Для виробництва смузі було обрано наступну сировину: сироватку молочну, вишневий сік, пектин яблучний та гідролізат колагену.

Математичне моделювання композиції смузі проводили за вмістом макро-нутрієнтів [14]. Реалізація математичного моделювання рецептур була проведена за допомогою лінійного програмування з використанням редактора MS Excel 2010 [14, 15].

5. Результати моделювання композиції смузі та визначення його показників якості

5.1. Обґрунтування вибору сировини для виготовлення смузі

Для закладів ресторанного господарства при виборі сировини головними є показники відповідності стандартам безпеки, а також вимогам НАССР, враховуючи незмінність корисних властивостей при кулінарній обробці. Тому при виборі сировини для виготовлення смузі було обрано доступну, недорогого і якісну сировину, яка володіє високими біологічними показниками.

Молочна сироватка містить більше ніж 200 мікроелементів, вітамінів та життєво важливих речовин. При щоденному вживанні сироватки молочної задовільняється 2/3 добової потреби організму в кальції, 1/2 – в калії, 80 % – у вітаміні В₂, 1/3 – у вітамінах В₁, В₆, В₁₂.

Саме в сироватці збалансований оптимальний об'єм жирів, білків та вуглеводів, який не перевантажує чутливу дитячу систему травлення та допомагає впоратись з надмірним газоутворенням і дисбактеріозом, а також стимулює захисні функції організму.

Завдяки своїм вираженим антиоксидантним властивостям сік ягід вишні покращує обмінні процеси в організмі і надає загальнозміцнюючу дію. Високий вміст фолієвої кислоти і заліза робить його корисним засобом при недокрів'ї. Він знищує кількість стрептококів і стафілококів, збудників дизентерії, допомагає загоєнню ран і знімає запалення суглобів швидше, ніж деякі протизапальні препарати. У вишневому соку багато кумаринів – активних речовин, які володіють різною дією: спазмолітичною, заспокійливою, сечогінною, заспокійливою, протимікробною і т. д. У вишневому соці багато сполук Р-вітамінного комплексу [16].

Пектин – полісахарид натуральний. Пектини в організмі людини діють наступним чином:

- обволікають слизову шлунку і кишківника, захищаючи від ушкоджень і шкідливих бактерій;
- підсилюють перистальтику кишківника і допомагають впоратися з запорами;
- збільшують всмоктування в організмі кальцію і магнію;
- виводять з шлунково-кишкового тракту агресивні речовини, токсини і солі важких металів;
- допомагають відновити корисну мікрофлору при дисбактеріозі (в цьому питанні саме яблучний пектин діє найкраще);
- зв'язують шкідливий холестерин і виводять його з організму, не даючи утворитися атеросклеротичним бляшкам;
- прискорюють регенерацію тканин після операцій, опіків, перитонітів [17].

Гідролізат колагену (ГК) на 97 % складається з білка. За складом тваринний колаген і вироблений на його основі гідролізат дуже близький до білка, що

виробляється організмом людини. Для організму людини гідролізат колагену має таке значення: відповідає за еластичність тканин; стимулює клітинний ріст; затримує в клітинах вологу; надає привабливого вигляду волоссю, нігтям і шкірі; не допускає в'ялості і обвисання шкіри.

Для проведення математичної оптимізації композицій аерованих смузі було визначено передумови впливу технологічних параметрів на реологічні показники суміші вибраних компонентів.

Враховуючи, що більш ніж 50 % композиції смузі буде складатись з білкової сировини було проведено розрахунок амінокислотного СКОРу білкової сировини з різним її співвідношенням.

Дослідження проводили наступним чином – готували розчини гідролізату колагену в сироватці з різною концентрацією. Виходячи з рекомендацій дієтологів стосовно вживання гідролізату колагену (5 г підтримуюча терапія, 10 г лікувальна терапія), його концентрація в сироватці становила 2, 4 та 6 %.

В табл. 1 наведено якісний склад незамінних амінокислот. В табл. 2 представлені розрахунки амінокислотного СКОРу.

Таблиця 1

Вміст незамінних амінокислот в досліджуваних білкових розчинах

Амінокислоти	Концентрація ГК у сироватці								
	2 %	4 %	6 %	2 %	4 %	6 %	2 %	4 %	6 %
	г а/к в 100 мл розчину			г а/к в 1 г білка			мг а/к в 1 г білка		
валін	0,60	0,63	0,66	0,28	0,18	0,13	283,84	180,64	135,60
ізолейцин	0,59	0,61	0,62	0,27	0,17	0,128	277,69	173,16	127,54
лейцин	1,15	1,18	1,21	0,537	0,33	0,24	536,554	334,76	246,70
лізин	1,04	1,07	1,10	0,48	0,30	0,22	485,73	304,17	224,93
метіонін	0,22	0,22	0,23	0,10	0,06	0,04	104,43	64,59	47,21
треонін	0,61	0,64	0,66	0,28	0,18	0,13	287,02	181,66	135,68
триптофан	0,23	0,23	0,22	0,11	0,06	0,04	109,66	65,27	45,90
фенілаланін	0,40	0,42	0,44	0,19	0,12	0,09	190,41	120,92	90,59

Таблиця 2

Амінокислотний СКОР білкових розчинів

Амінокислоти	2 % розчин ГК	4 % розчин ГК	6 % розчин ГК
валін	567,7	361,3	271,2
ізолейцин	694,2	432,9	318,9
лейцин	766,5	478,2	352,4
лізин	883,2	553,0	409,0
метіонін	298,4	184,6	134,9
треонін	717,5	454,2	339,2
триптофан	1096,6	652,8	459,1
фенілаланін	317,4	201,5	151,0

Незважаючи на те, що за амінокислотним СКОРом всі розчини мають достатньо високі показники для подальших досліджень вибираємо зразок, в якому міститься 4 % гідролізату колагену. Такий вибір обґрунтовано тим, що при використанні даної концентрації гідролізату колагену в готовому продукті його вміст буде відповідати рекомендаціям дієтологів. Також збільшення вмісту гідролізату колагену в сироватці не дозволить отримати більш гомогенну структуру та харчова система буде мати підвищений липкий ефект, що значно погіршить його товарні показники.

В якості стабілізатора аерованої структури буде виступати яблучний пектин. Тому наступним етапом стало обґрунтування співвідношення пектин:гідролізат колагену, з метою отримання більш збитої структури харчової системи.

Для дослідження готували вуглеводно-білкові розчини в сироватці, де співвідношення пектин:гідролізат колагену становило 0,5:1; 1:1; 1:0,5.

Збивання проводили при температурах 10 °С та 20 °С. Вибір такої температури обумовлено технологічним процесом отримання коктейлів у закладах ресторанного господарства.

Час збивання становив від 30 до 120 секунд з шагом в 30 сек.

Порівняння піноутворення зразків наведено на рис. 1, 2.

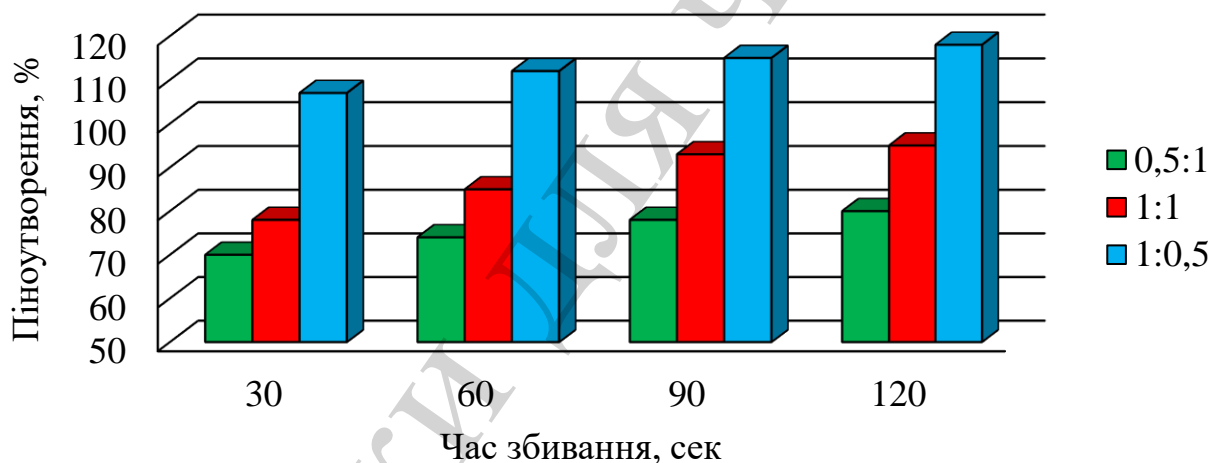


Рис. 1. Піноутворення вуглеводно-білкової харчової системи при 10°C

Динаміка зростання піноутворення (рис. 1, 2) для всіх зразків однакова, так при збільшенні часу збивання піноутворення зростає в середньому від 3 до 10 %. Збільшення вмісту гідролізату колагену в розчині призводить до зниження піноутворення, що пояснюється його властивостями до гідратації та набухання, що корелюється з попередніми дослідженнями [14].

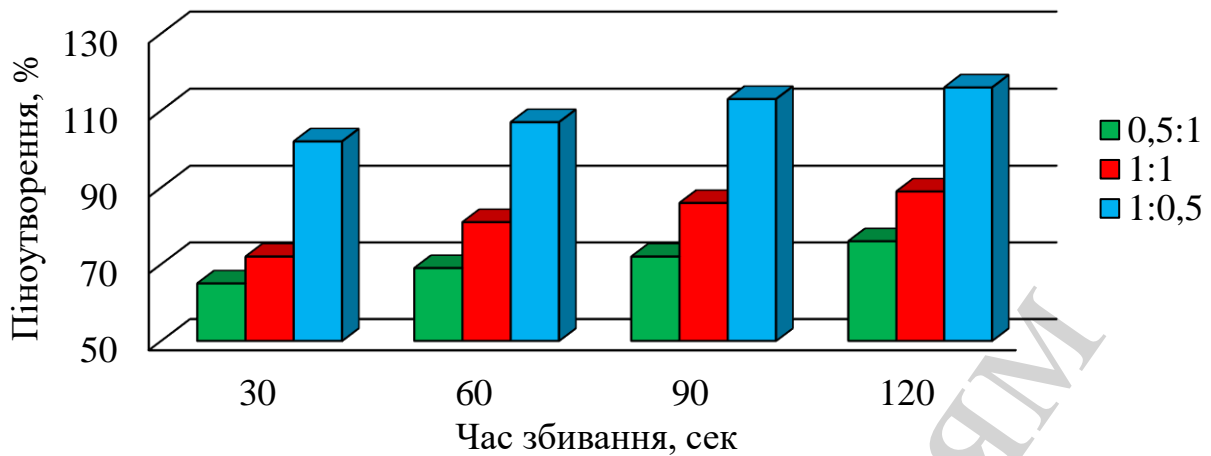


Рис. 2. Піноутворення вуглеводно-білкової харчової системи при 20 °С

Отримані дані (рис. 1, 2) дають можливість виявити найефективніше співвідношення основної вуглеводно-білкової сировини: концентрація гідролізату колагену 4 %, співвідношення пектин:гідролізат колагену 1:0,5.

Основним показником якості аерованого продукту для споживача виступає його здатність до утримання стабільної консистенції в продовж часу споживання. Тому основною передумовою до математичного моделювання стала перевірка модельних вуглеводно-білкових систем до здатності утримувати стабільну пінну структуру.

Дослідження проводили при температурі 10 °С та 20 °С, враховуючи температурний режим отримання пін та їх реалізації (рис. 3, 4).

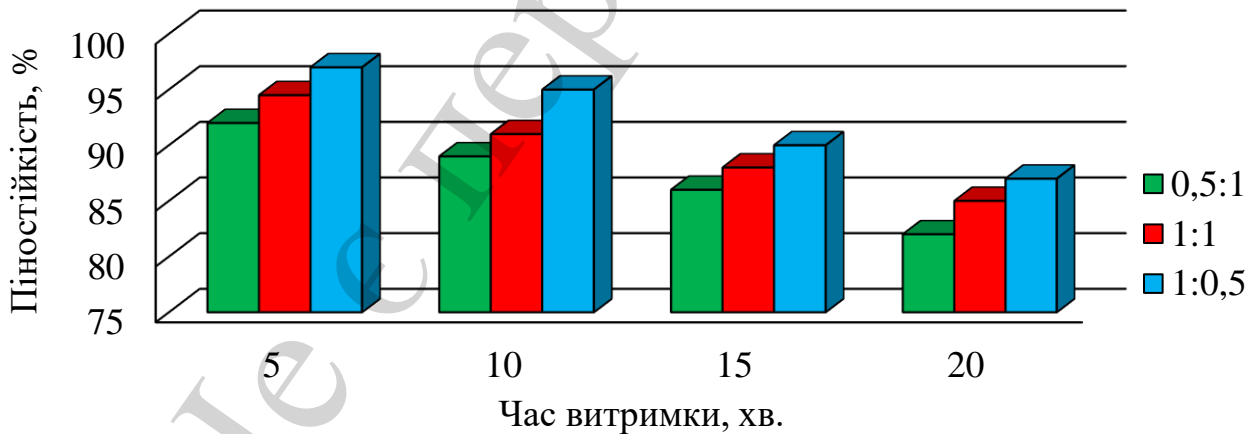


Рис. 3. Піностійкість вуглеводно-білкової харчової системи, отриманої при температурі збивання 10 °С

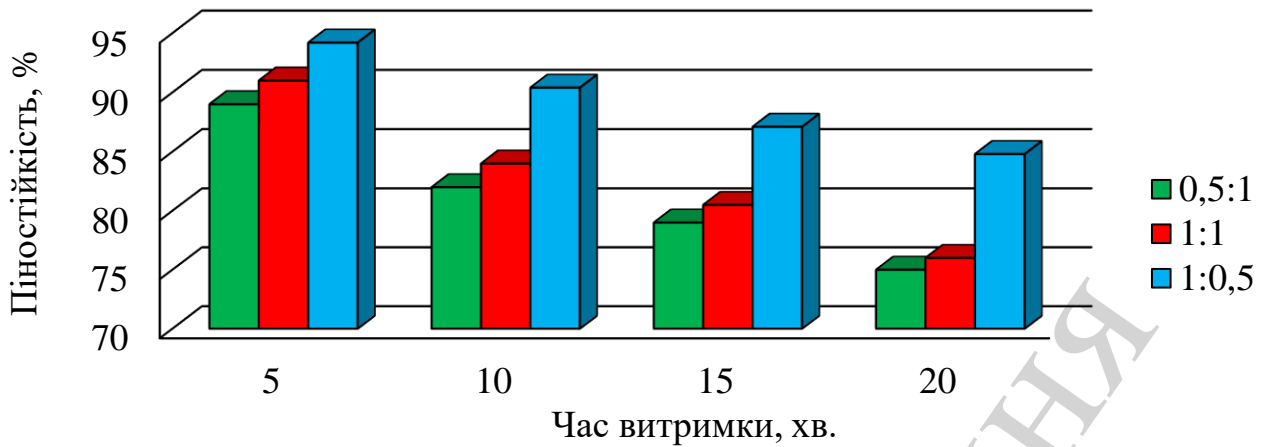


Рис. 4. Піностійкість вуглеводно-білкової харчової системи, отриманої при температурі збивання 20 °С

Отримані дані (рис. 3, 4) показали високі показники стійкості пін, отриманих за різною температурою. При цьому піни, отримані при температурі 10 °С були більш стабільні ніж піни, що отримані при 20 °С. Зниження температури витримки пін з 20 °С до 10 °С показало збільшення показника піностійкості в середньому на 3,5 %.

Для дослідження кратності піни вибрали зразок харчової системи, яка містить пектин яблучний та гідролізат колагену у співвідношенні 1:0,5.

На рис. 5 наведена динаміка зміни кратності пін, в залежності від температури та часу їх утворення.

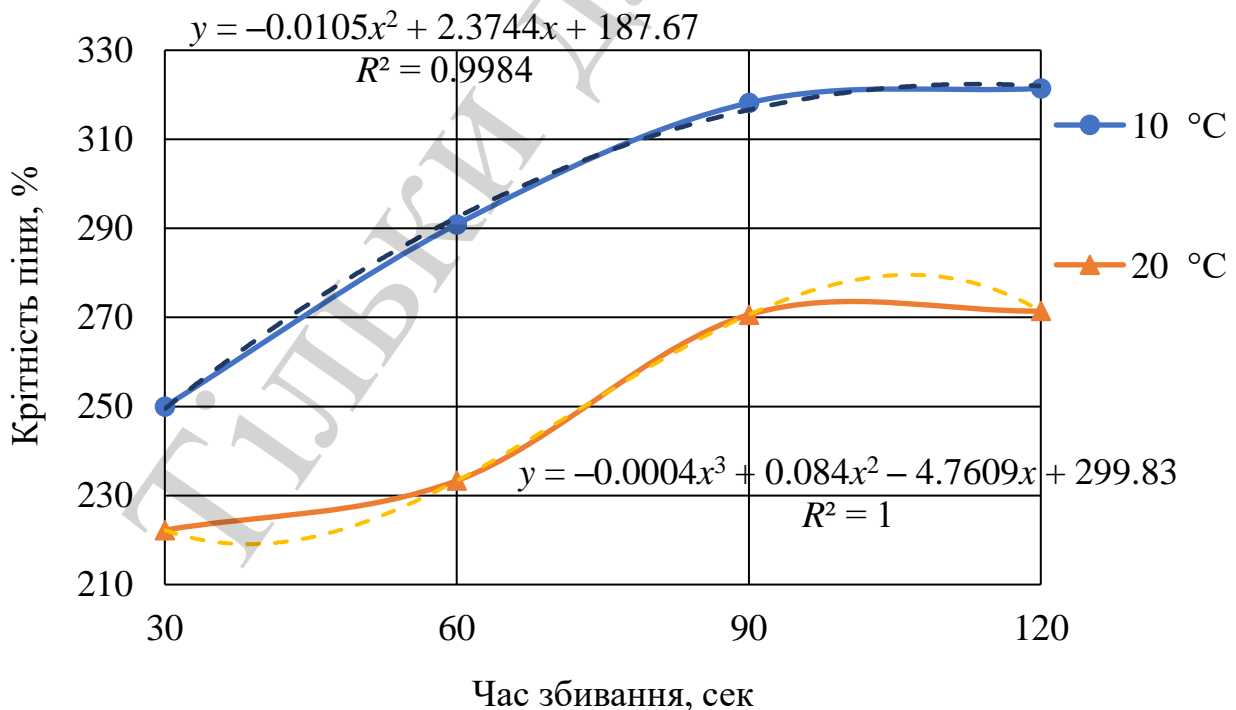


Рис. 5. Залежність кратності піни вуглеводно-білкової суміші від часу збивання

Отримані дані (рис. 5) показали, що при збиванні харчової системи при температурі 10 °С кратність піни вища ніж при температурі 20 °С майже в 2 рази.

Відомо, що кратність піни збільшується з ростом розмірів пухирців і збільшенням їх кількості, а відповідно і зменшується товщина стінок. Тому оптимальним часом збивання піни є 90 хв. Саме при цьому часі збивання піна набуває максимальної кратності, подальше збільшення часу збивання не приводить до зростання кратності піни у зв'язку з тим що починається процес механічного руйнування ячеїстої структури піни.

5. 2. Математична оптимізація композиції аерованих смузі

Метою математичного моделювання композиції смузі стало отримання готового продукту з підвищеним вмістом макронутрієнтів.

В табл. 3 наведена матриця характеристики рецептурних інгредієнтів (PI) для проектування рецептури смузі. Діапазон варіювання вмісту пектину та гідролізату колагену прийняли, виходячи з раніше отриманих даних, щодо отримання харчової системи з максимальним піноутворенням та піностійкістю.

У табл. представлено вміст макронутрієнтів у вибраних PI.

Таблиця 3

Інформаційна матриця даних для математичного моделювання композиції смузі

Рецептурний інгредієнт	Індекс, X_i	Вміст макронутрієнтів PI, %	Діапазон варіювання PI, г/порцію
Сироватка молочна	X_1	5,97	92–100
Вишневий сік	X_2	10,26	88–96
Пектин яблучний	X_3	36	7–9
Гідролізат колагену	X_4	70	3–5

Таблиця 4

Вміст макронутрієнтів PI для виготовлення смузі

Рецептурні інгредієнти	Сироватка молочна	Вишневий сік	Пектин яблучний	Гідролізат колагену
Нутрієнти, г/100 г				
Білки	0,76	0,7	0,5	70
Жир	0,09	0,2	0,5	0
Моноуглеводи	5,12	11,4	35	0
Всього	5,97	12,3	36	70

Оптимізацію рецептур проводили в програмі Excel, за допомогою вкладки «Поиск решения».

Для розробки смузі цільова функція мала наступний вид:

$$F(x) = \frac{5,97 \cdot x_1 + 12,3 \cdot x_2 + 36 \cdot x_3 + 70 \cdot x_4}{100} \rightarrow \max.$$

На підставі інформаційної матриці (табл. 3) та вмісту макронутрієнтів (табл. 4) склали систему лінійних балансових рівнянь за змістом в композиції білків, жирів, вуглеводів при дотриманні обмежень, згідно з фізіологічною потребою людини.

Система рівнянь для проектування смузі виглядала наступним чином. Вміст білку не менше ніж 2 г в 100 г і не більш ніж 5 г в 100 г:

$$0,76 \cdot x_1 + 0,7 \cdot x_2 + 0,5 \cdot x_3 + 70 \cdot x_4 \geq 2,$$

$$0,76 \cdot x_1 + 0,7 \cdot x_2 + 0,5 \cdot x_3 + 70 \cdot x_4 \leq 5.$$

Вміст жиру не менше ніж 0,1 г в 100 г і не більш ніж 0,4 г в 100 г:

$$0,09 \cdot x_1 + 0,2 \cdot x_2 + 0,5 \cdot x_3 \geq 0,1,$$

$$0,09 \cdot x_1 + 0,2 \cdot x_2 + 0,5 \cdot x_3 \leq 0,4.$$

Вміст вуглеводів не менше ніж 5 г в 100 г і не більш ніж 15 г в 100 г:

$$5,12 \cdot x_1 + 11,4 \cdot x_2 + 35 \cdot x_3 \geq 5,$$

$$5,12 \cdot x_1 + 11,4 \cdot x_2 + 35 \cdot x_3 \leq 15.$$

Співвідношення білків:вуглеводів не менше ніж 0,25 і не більш ніж 0,33:

$$\frac{0,76 \cdot x_1 + 0,7 \cdot x_2 + 0,5 \cdot x_3 + 70 \cdot x_4}{5,12 \cdot x_1 + 11,4 \cdot x_2 + 35 \cdot x_3} \geq 0,25,$$

$$\frac{0,76 \cdot x_1 + 0,7 \cdot x_2 + 0,5 \cdot x_3 + 70 \cdot x_4}{5,12 \cdot x_1 + 11,4 \cdot x_2 + 35 \cdot x_3} \leq 0,33.$$

Умови нормування (вихід порції 200 г):

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 200.$$

Нижні обмеження змінних (рецептурних інгредієнтів):

$$x_1 \geq 92; \quad x_2 \geq 88; \quad x_3 \geq 7; \quad x_4 \geq 3.$$

Верхні обмеження змінних (рецептурних компонентів):

$$x_1 \leq 100; x_2 \leq 96; x_3 \leq 9; x_4 \leq 5.$$

В результаті застосування математичного програмування виконуємо оптимальне рішення: знаходимо екстремум лінійної цільової функції при обмеженнях на змінні, що необхідно знайти.

На рис. 6 представлено хід розрахунків за допомогою вкладки «Поиск решения».

	вміст компонента, г	вміст білка, г/100г	вміст білка в суміші, г	вміст вуглеводів, г/100 г	вміст вуглеводів, г	вміст жиру, г/100 г	вміст жиру в суміші, г
сироватка молочна	92,0000	0,76	0,6992	5,12	4,7104	0,09	0,0828
вишневий сік	96,0000	0,7	0,672	11,4	10,944	0,2	0,192
пектин яблучний	9,0000	0,5	0,045	35	3,15	0,5	0,045
гідролізат колагену	3,0000	70	2,1	0	0	0	0
всього	200,0000		3,5162		18,8044		0,3198
співвідношення Б до В	0,1870						
целевая функция	22,6404						

Рис. 6. Хід розрахунків планування в «Поиск решения»

В результаті розрахунку програми отримали частки рецептурних інгредієнтів:

$$x_1 = 92; x_2 = 88; x_3 = 7; x_4 = 3,$$

при цьому

$$F(x) = \frac{5,97 \cdot 92 + 12,3 \cdot 96 + 36 \cdot 9 + 70 \cdot 3}{100} = 22,64.$$

Таким чином, вміст основних макронутрієнтів склав 22,64 г на порцію (200 г).

Відповідно до отриманих результатів склали рецептуру смузі та норми закладки сировини для виготовлення 1 порції (табл. 5).

Таблиця 5

Рецептура і норма використання сировини на виробництво смузі

Сировина	Втрати, %	Брутто, г	Нетто, г
сироватка молочна	0,2	92,18	92,0
вишневий сік	0,5	96,48	96,0
пектин яблучний	0,7	9,06	9,0
гідролізат колагену	0,5	3,02	3,0
Всього, г/порцію (200 г)			200,0

5. 3. Аналіз харчової та енергетичної цінності, антиоксидантної активності нового продукту

У табл. 7, 8 представлені дані про харчову та енергетичну цінність смузі з підвищеною масовою часткою білка тваринного походження.

Таблиця 7

Нутрієнтний склад смузі

Мікронутрієнти	Добова потреба, мг	Смузі, мг	Задоволеність від добової потреби (порція), %	Задоволеність від добової потреби (в 100 г смузі), %
Na	400	92,100	23,03	11,51
K	2500	381,280	15,25	7,63
Ca	300	114,680	38,23	19,11
Mg	400	16,220	4,06	2,03
P	400	91,290	22,82	11,41
Fe	18	0,533	2,96	1,48
A	0,1	0,009	8,60	4,30
B ₁	1,5	0,046	3,09	1,55
B ₂	1,8	0,148	8,22	4,11
B ₆	0,2	0,075	37,60	18,80
E	15	0,192	1,28	0,64
PP	20	0,317	1,59	0,79
C	80	7,104	8,88	4,44

Таблиця 8

Енергетична цінність смузі

Енергетичні складові	Вміст на 100 г
Білки, г	1,76
Жири, г	0,16
Вуглеводи, г	9,4
Енергетична цінність, ккал	46,7

Виходячи з того, що моделювання рецептури смузі проводили на основі амінокислотного SKOPy було розраховано його і у готовому продукті (табл. 9).

Таблиця 9

Розрахунок амінокислотного скору смузі

	г/3,5 г білка (порція 200 мл)	г/1 г білка	мг/г білка	Ідеальний білок	СКОР
валін	0,097	0,03	27,71	50	554,28
ізолейцин	0,078	0,02	22,28	40	557,14
лейцин	0,144	0,04	41,14	70	587,75
лізин	0,142	0,04	40,57	55	737,66
метіонін	0,022	0,006	6,28	35	179,59
треонін	0,093	0,026	26,57	40	664,28
триптофан	0,018	0,005	5,14	10	514,28
фенілаланін	0,067	0,019	19,14	60	319,04

Задоволеність в амінокислотах при споживанні 1 порції смузі наведена в табл. 10.

Таблиця 10

Задоволеність в незамінних амінокислотах

	Добова потреба в г	Вміст, г/1 порцію	Задоволеність, %
валін	3	0,097	3,23
ізолейцин	3	0,078	2,60
лейцин	5	0,144	2,88
лізин	4	0,142	3,55
метіонін	3	0,022	0,73
треонін	2	0,093	4,65
триптофан	2	0,018	0,90
фенілаланін	3	0,067	2,23
аргінін	6	0,155	2,58
гістидін	2	0,031	1,55

Експериментальні дані щодо визначення біологічної активності (БА) використаної сировини та розробленого смузі свідчать, що біологічно активні речовини складових смузі здатні до окислення $NAD \cdot H_2$ до NAD по-різному (рис. 7). Дослідження показало, що складові смузі виявляють ефект синергізму взаємодії біологічно активних речовин за показником антиоксидантної дії (амінокислоти-антиоксиданти: метіонін, тирозин, цистеїн та ін. вітаміни).

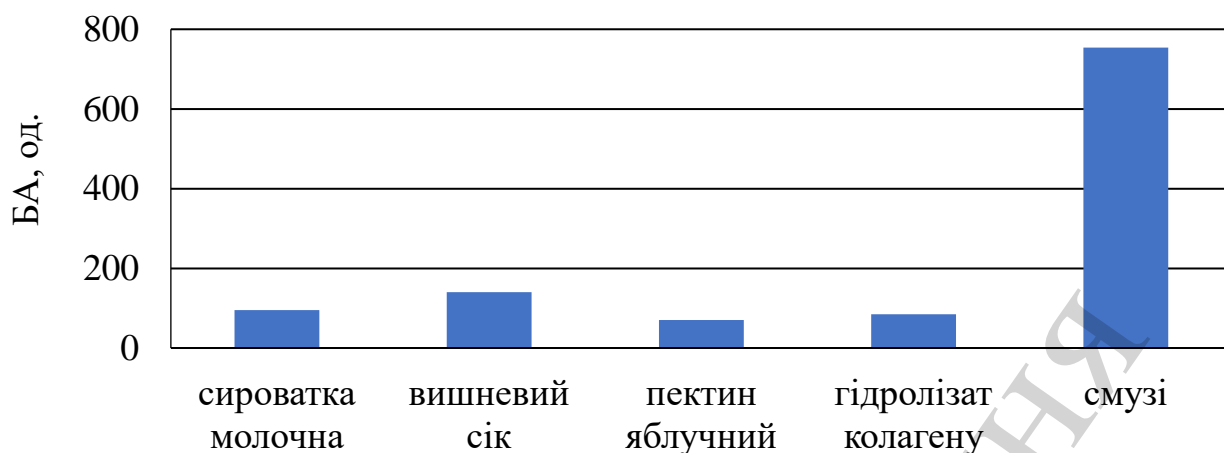


Рис. 7. Дослідження біологічної активності сировини та розробленого смузі

5. 4. Визначення сенсорних показників готового продукту в умовах виробництва

Для впровадження у виробництво в закладах ресторанного господарства було проведено дегустаційну оцінку, про що свідчать акт впровадження в кафе «Garlic» (м. Одеса) та тимчасова картка.

Сенсорну оцінку проводила дегустаційна комісія, в склад якої входило загалом 10 осіб одразу після виготовлення смузі.

Оцінку сенсорних показників отриманих продуктів наведено в табл. 11. Органолептичну оцінку проводили сенсорним методом за показниками, передбаченими стандартом ДСТУ 2781-98: зовнішній вигляд, консистенція, колір, запах, смак. Балова оцінка, яку отримав смузі наведено на рис. 8.

Таблиця 11

Сенсорні показники розроблених смузі

Назва напою	Смузі
Зовнішній вигляд	Гомогенний, рівномірний по всьому об'єму, глянцева поверхня
Колір	Світло-червоний
Запах	Властивий даним продуктам, приємний, кисломолочний
Консистенція	Однорідна, збита, пухирці рівномірно розподілені по всьому об'єму
Смак	Кисломолочний з вишневим відтінком, помірно солодкий

Проведена дегустація показала, що смузі володіє високими смаковими властивостями та може бути реалізовано в закладі ресторанного господарства.

Було проведено дослідження зміни мікробіоти готових смузі впродовж 4 годин. Зберігання смузі проводили в закритій скляній тарі при температурі $(4 \pm 2) ^\circ\text{C}$.

Дослідження зміни мікробіологічної біомаси в процесі зберігання представлені в табл. 12.

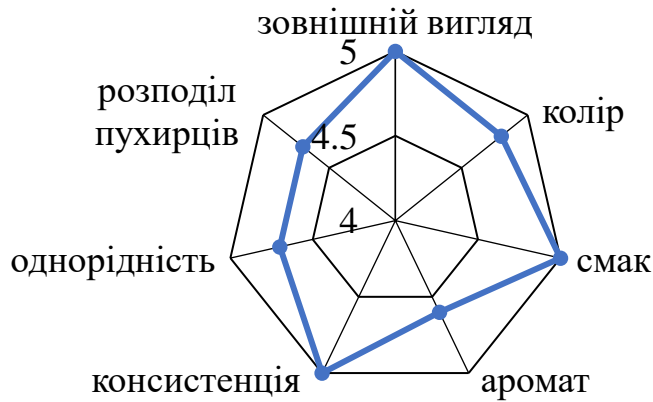


Рис. 8. Профілограма органолептичних показників смузи

Таблиця 12

Мікробіологічні показники якості смузи

Найменування показників	Зберігання, годин			
	1	2	3	4
Бактерії кишкової палички коліформи, КУО в 0,01 г продукту	Не виявлено			
Патогенні мікроорганізми, Salmonella, в 25 г продукту	Не виявлено			
Кількість плісневих грибів, КУО в 1 г продукту, не більше	$2,3 \cdot 10^2$	$2,7 \cdot 10^2$	$2,9 \cdot 10^2$	$3,1 \cdot 10^2$
Кількість дріжджів, КУО в 1 г продукту, не більше	$2,4 \cdot 10^1$	$2,7 \cdot 10^1$	$2,9 \cdot 10^1$	$3,1 \cdot 10^1$
Staphylococcus aureus, в 0,01 г продукту	Не виявлено			

Дані, наведені в табл. 12, дають змогу рекомендувати реалізацію розробленого смузи в продовж 4 годин при умові його зберігання в холодильній шафі в скляній тарі при температурі $(4 \pm 2)^\circ\text{C}$.

6. Обговорення результатів моделювання композиції смузи

Розрахунок амінокислотного вмісту (табл. 1) та СКОРу показав (табл. 2), що у всіх зразках всі незамінні амінокислоти знаходяться у достатній кількості. Їх СКОР більш ніж 100, а значить будуть в повній мірі засвоюватись. Відсутність амінокислоти зі СКОРом менш ніж 100 показує, що відсутні лімітовані амінокислоти. Однак амінокислотний СКОР метіоніну найнижчий, що пов'язано з тим що дана амінокислота повністю відсутня в гідролізаті колагену.

Дані, представлені на рис. 1, показали, що найбільше піноутворення досягається через 120 хв. збивання. Так при співвідношенні пектин:гідролізат колагену 1:0,5 через 120 хвилин збивання піноутворення дорівнює 118 %, що на 2,6 % вище ніж після 90 секунд збивання. Порівнюючи збиті суміші з співвідношенням пектин:гідролізат колагену 1:1 та 1:0,5 видно, що при нижчому вмісті гідролізату колагену піноутворення збільшується майже на 24 %. Піноутво-

рення вуглеводно-білкової системи при використанні співвідношення пектин:гідролізат колагену 0,5:1 має найменші показники.

Стабільність піни через 5 хвилин витримки при температурі 10 °С знизилась. Так при співвідношенні пектину яблучного та гідролізату колагену 0,5:1, 1:1, 1:0,5 стабільність пін знизилась на 8 %, 5,5 % та 3 % відповідно.

А при температурі 20 °С стабільність піни знизилась на 11 %, 9 %, 5,8 % для відповідних розчинів.

Через 20 хвилин витримки піностійкість піни, отриманої при температурі 10 °С знизилась на 18 %, 15 %, 13 % відповідно для харчових систем з сумішшю пектину та гідролізату колагену 0,5:1, 1:1, 1:0,5 відповідно. При витримці піни при температурі 20 °С піностійкість знизилась на 25 %, 24 %, 15,2 % для відповідних розчинів. В середньому піностійкість при температурі 10 °С знижувалась на 3 % кожні 5 хвилин. При температурі 20 °С піностійкість знижувалась в середньому на 5,5 %.

При збільшенні часу збивання кратність піни збільшується з 250 % до 321,43 % при температурі 10 °С, а збивання при 20 °С дозволяє збільшити кратність з 222,22 % до 271,43 %.

Конструювання композиції смузі за допомогою математичного програмування дало змогу отримати оптимальні частки компонентів: сироватка молочна – 92 мл, вишневий сік – 96 мл, пектин яблучний – 9 г, гідролізат колагену – 3 г.

Аналіз нутрієнтного складу смузі (табл. 7) показав, що споживання 1 порції смузі задовольнить потребу у кальції на 19,11 %, натрію – 11,51 %, фосфору – 11,41 %.

Дані, наведені в табл. 10, показали, що споживання 1 порції розробленого смузі задовольняє потребу у незамінних амінокислотах на невисокому рівні, так максимальне задоволення спостерігається для треоніну і складає 4,65 %, а мінімальне задоволення добової потреби показав триптофан (0,90 %).

Визначення біологічної активності показало, що швидкість перенесення електронів в системі $\text{NAD}\cdot\text{H}_2\text{-K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ для готового смузі в середньому в 8,1 разів вища ніж у його складових, що свідчить про синергізм речовин антиоксидантної дії (рис. 2).

Оцінка сенсорних показників розробленого смузі показала високі якісні характеристики нового продукту, що є важливим для продукції закладів ресторанного господарства. Загальна оцінка за сенсорними показниками становить 33,8 бали з 35 можливих балів.

Дані визначення динаміки зміни мікробіоти смузі показали високі показники безпеки та можливість реалізації розробленого смузі в продовж 4 годин при умові його зберігання в холодильній шафі в скляній тарі при температурі (4 ± 2) °С.

Розроблений комплексний підхід щодо виробництва напоїв функціональної дії може бути використаний будь яким оператором ринку з виробництва не тільки напоїв, а й різних продуктів харчування.

Для впровадження у виробництво операторами ринку планується провести SWOT-аналіз отриманого продукту та скласти програми-передумови системи HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points). Надалі в роботі планується

визначення комплексного показника якості розробленого смузі і розрахунок показника конкурентоспроможності.

7. Висновки

1. Згідно вимог НАССР та стандартів безпеки на харчові продукти для виробництва смузі було обрано доступну, недорого і якісну сировину, яка володіє високими біологічними показниками: сироватка молочна, вишневий сік, пектин яблучний та гідролізат колагену. Дослідження показали, що при використанні 4 % розчину гідролізату колагену в сироватці досягається рекомендована добова норма споживання, але при такій концентрації спостерігається легкий липкий ефект.

2. Для математичного програмування було обрано за обмеження рекомендовану дієтологами дозу гідролізату колагену. За допомогою табличного процесора MS Excel 2010 проведено математичне моделювання композиції смузі з метою отримання продукту з підвищеним вмістом сухих речовин. Рецептuru смузі складалась з наступних компонентів: сироватка молочна – 92 г, вишневий сік – 96 г, пектин яблучний – 9 г, гідролізат колагену – 3 г. Вміст основних макроелементів склав 22,64 г на порцію (200 г) або 11,32 г на 100 г.

3. Досліджено нутрієнтний склад отриманого смузі. Доведено збалансований вміст нутрієнтів. При цьому співвідношення основних мінеральних речовин кальцію, магнію та фосфору дорівнює 1:0,11:0,6. Недолік магнію можна коректувати споживанням смузі зі смаковими добавками – какао порошок, насіння кунжуту, фініки. Аналіз амінокислотного СКОРу показав, що розроблений продукт має високий ступінь засвоюваності незамінних амінокислот, що пов'язано з відсутністю лімітуючої амінокислоти, СКОР якої менший ніж 100 %. Встановлено ефект синергізму взаємодії біологічно активних речовин всіх компонентів смузі за показником антиоксидантної дії. Дегустаційна оцінка сенсорних показників розробленого смузі, виробленого на виробничих потужностях сучасного оператора ринку (кафе «Garlic», м. Одеса) показала високі якісні показники, так загальна оцінка за сенсорними показниками становить 33,8 бали. Для впровадження розробленої композиції в реальні умови необхідно провести розрахунки конкурентоспроможності нового продукту.

Література

1. Guerdjikova, A. I., Mori, N., Casuto, L. S., McElroy, S. L. (2019). Update on Binge Eating Disorder. *Medical Clinics of North America*, 103 (4), 669–680. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mcna.2019.02.003>
2. Kasapoğlu, K. N., Daşkaya-Dikmen, C., Yavuz-Düzgün, M., Karaça, A. C., Özçelik, B. (2019). Enrichment of Beverages With Health Beneficial Ingredients. *Value-Added Ingredients and Enrichments of Beverages*, 63–99. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-816687-1.00003-5>
3. Arranz, E., Corrochano, A. R., Shanahan, C., Villalva, M., Jaime, L., Santoyo, S. et. al. (2019). Antioxidant activity and characterization of whey protein-based beverages: Effect of shelf life and gastrointestinal transit on bioactivity. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 57, 102209. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102209>

4. Shraddha RC, C. R., Nalawade T, K. A. (2015). Whey Based Beverage: Its Functionality, Formulations, Health Benefits and Applications. *Journal of Food Processing & Technology*, 6 (10). doi: <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000495>
5. Назаренко, Ю. В., Яценко, С. Ю. (2016). Особливості використання молочної сироватки та ретентату, отримання високоякісних напоїв оздоровчого харчування. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*, 1, 127–142.
6. Огнева, О. А., Донченко, Л. В. (2015). Пектиносодержащие напитки с пробиотическими свойствами. *Научный журнал КубГАУ*, 107 (03), 1–9.
7. Souza, F. P., Balthazar, C. F., Guimarães, J. T., Pimentel, T. C., Esmerino, E. A., Freitas, M. Q. et. al. (2019). The addition of xyloligosaccharide in strawberry-flavored whey beverage. *LWT*, 109, 118–122. doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.03.093>
8. Skryplonek, K., Dmytrów, I., Mituniewicz-Małek, A. (2019). Probiotic fermented beverages based on acid whey. *Journal of Dairy Science*, 102 (9), 7773–7780. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16385>
9. Yuliarti, O., Mei, K. H., Kam Xue Ting, Z., Yi, K. Y. (2019). Influence of combination carboxymethylcellulose and pectin on the stability of acidified milk drinks. *Food Hydrocolloids*, 89, 216–223. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.10.040>
10. Jensen, S., Rolin, C., Ipsen, R. (2010). Stabilisation of acidified skimmed milk with HM pectin. *Food Hydrocolloids*, 24 (4), 291–299. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.10.004>
11. Kieserling, K., Vu, T. M., Drusch, S., Schalow, S. (2019). Impact of pectin-rich orange fibre on gel characteristics and sensory properties in lactic acid fermented yoghurt. *Food Hydrocolloids*, 94, 152–163. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.02.051>
12. Singh, S., Khemariya, P., Rai, A. (2011). Process optimization for the manufacture of lemon based beverage from hydrolyzed whey. *Journal of Food Science and Technology*, 51 (4), 691–699. doi: <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0563-1>
13. Dzyuba, N., Bilenka, I., Palvashova, A., Zemlyakova, E. (2017). Investigation of foaming and hydration properties of collagen hydrolyzate. *EUREKA: Life Sciences*, 5, 68–72. doi: <https://doi.org/10.21303/2504-5695.2017.00424>
14. Dzyuba, N., Bilenka, I., Palvashova, A., Zemlyakova, E. (2017). Study into collagen hydrolyzate applicability as a structure forming agent. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (11 (89)), 10–17. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.110498>
15. Тележенко, Л. М., Дзюба, Н. А., Кашкано, М. А., Валевська, Л. О. (2016). *Основи наукових досліджень*. Херсон: Грінь Д.С., 192.
16. Чернюшок, А. О., Кочубей-Литвиненко, О. В., Василів, В. П., Дашковський, Ю. О., Ардинський, О. В., Федоренко, Л. А. (2011). Сироватка молочна – біологічно цінний продукт. *Харчова наука і технологія*, 1 (14), 40–42.
17. Рогов, И. А., Антипова, Л. В., Дунченко, Н. И. (2007). *Химия пищи*. М.: Колос, 853.