

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет Технології виробництва і переробки продукції тваринництва
Кафедра Харчових технологій

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти
бакалавр
бакалавр, магістр

на тему: **ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ МАКАРОННИХ ВИРОБІВ
ШЛЯХОМ ЇХ ЗБАГАЧЕННЯ СПРУЛІНОЮ *SPIRULINA MAXIMA***

Виконав: здобувачка вищої освіти
за освітньо-професійною
програми Харчові технології
назва освітньо-професійної програми
спеціальності 181 Харчові технології
код та найменування спеціальності
ступеня вищої освіти бакалавр
бакалавр, магістр
групи 181 ХТ

Саченко І. В.
Прізвище та ініціали здобувача вищої освіти
Керівник: Сукманов В.О.
Прізвище та ініціали керівника

Рецензент: Поліщук А.А.
Прізвище та ініціали рецензента

Полтава – 2023року

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет технології виробництва і переробки продукції тваринництва
Кафедра харчових технологій

Освітньо-професійна програма Харчові технології

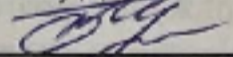
Спеціальність 181 Харчові технології

Ступінь вищої освіти бакалавр

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри харчових технологій,

к.т.н., доцент

 Ніна БУДНИК

«28» вересня 2022 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Савченко Глопа Юріївна

1. Тема роботи: «Вдосконалення технології макаронних виробів шляхом їх збагачення спіруліною *spirulina maxima*»

керівник роботи докт. техн. наук, професор кафедри харчових технологій
(наукове звання, посада, прізвище та ініціали керівника роботи)

Сукманов В.О. затверджені наказом ПДАУ від «03» «квітня» 2023 року № «299-ст» 2019 року набору

2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи «22» «травня» 2023 р.

3. Вихідні дані до роботи:

1. Об'єкт дослідження: технологія макаронних виробів, виготовлених з додаванням мікроводоростей (*Spirulina maxima*).

2. Дослідити: фізико-хімічний склад зразків макаронних виробів, виготовлених із додаванням спіруліни; технологічні показники варених макаронних виробів із включенням мікроводоростей (оптимальний час приготування, втрати при варінні, індекс набухання, водопоглинання); енергетичну цінність досліджуваних зразків; текстура досліджуваних зразків (твердість); колір досліджуваних зразків; сенсорні властивості досліджуваних зразків.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

Розділ 1. Огляд літератури за проблемою досліджень

Розділ 2. Матеріали та методи досліджень

Розділ 3. Результати власних досліджень

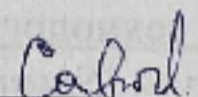
5. Перелік графічного матеріалу: схеми, рисунки, графіки, діаграми за темою та об'єктом дослідження

6. Дата видачі завдання: «26» «вересня» 2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

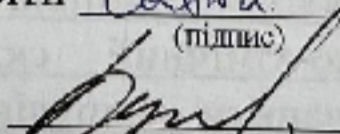
№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вибір і затвердження теми роботи.	26.09.2022 – 02.10.2022	вик.
2	Складання і затвердження розгорнутого плану та завдання на кваліфікаційну роботу	03.10.2022 – 06.10.2022	вик.
3	Опрацювання літературних джерел	07.10.2022 – 07.11.2022	вик.
4	Збір, вивчення і обробка інформації, необхідної для виконання роботи	08.11.2022 – 08.12.2022	вик.
5	Виконання теоретичного розділу роботи	09.12.2022 – 09.01.2023	вик.
6	Засвоєння та опробування методик досліджень	10.01.2023 – 15.02.2023	вик.
7	Виконання власних досліджень	16.02.2023 – 16.03.2023	вик.
8	Оформлення тексту роботи	17.03.2023 – 28.05.2023	вик.
9	Попередній захист роботи на кафедрі	29.05.2023 – 04.06.2023	вик.
10	Нормоконтроль та перевірка на плагіат	05.06.2023 – 07.06.2023	вик.
11	Доопрацювання роботи з урахуванням зауважень і пропозицій	08.06.2023 – 18.06.2023	вик.
12	Захист кваліфікаційної роботи	19.06.2023 – 21.06.2023	

Здобувач вищої освіти


(підпис)

Ілона САВЧЕНКО
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ ЗВО)

Керівник роботи


(підпис)

Валерій СУКМАНОВ
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ керівника)

ВСТУП

Макаронні вироби є основним продуктом харчування в усьому світі, включаючи країни, що розвиваються, і їх споживають люди різного віку, від дітей до літніх людей, незалежно від їх соціально-економічного статусу.

Обсяги виробництва макаронних виробів в Україні на сьогодні становить понад 75 тис. тон на рік та постійно зростає. Один мешканець України споживає в середньому 1,8 кг макаронів на рік, тоді як в країнах ЄС аналогічний показник становить 12 кг на людину.

Макаронні вироби за харчовою цінністю перевищують пшеничний хліб, тому що виготовляють їх із пшеничного борошна з максимальним вмістом білкових речовин. Підвищити біологічну цінність макаронних виробів можна, збагативши їх повноцінним білком, вітамінами, макро- та мікроелементами.

Макаронні вироби мають ряд переваг перед найбільш поширеними харчовими продуктами. При зберіганні макаронні вироби не черствіють, як хліб, і менш гігроскопічні в порівнянні з сухарями, добре транспортуються і зберігаються (до року і більше) без погіршення смакових і поживних властивостей.

Слід зазначити, що імпорт макаронних виробів переважає над експортом майже на 30%, що свідчить про те, що український споживач отдає переваги макаронним виробам з Італії, Німеччині, Китаю. Цей факт підкреслює актуальність проведення досліджень, спрямованих на підвищення якості макаронних виробів вітчизняних виробників.

Враховуючи вище наведене, слід вважати, що тема дослідження, спрямована на підвищення якості макаронних виробів шляхом вдосконалення їх технології шляхом їх збагачення спіруліною *spirulina maxima* є **актуальною**.

Мета дослідження – наукове обґрунтування параметрів технології та дослідження якості макаронних виробів, виготовлених з різним вмістом мікроводоростей (*Spirulina maxima*).

Об'єкт дослідження – технологія макаронних виробів, виготовлених з додаванням мікроводоростей (*Spirulina maxima*).

Предмет дослідження – хімічний склад та технологічні властивості зразків макаронних виробів, колір, текстура та органолептичні властивості.

Для досягнення мети дослідження нами було сформульовані завдання дослідження:

- дослідити фізико-хімічний складу зразків макаронних виробів;
- проаналізувати технологічні показники зварених макаронних виробів із включенням мікроводоростей;
- проаналізувати текстуру досліджуваних зразків;
- провести аналіз кольору досліджуваних зразків;
- виконати аналіз сенсорних властивостей досліджуваних зразків.

Дана робота виконується в рамках бюджетної теми кафедри харчових технологій ДР №0115U006745 «Інноваційні та ресурсозберігаючі технології харчових виробництв» (Розділ «Технології та обладнання субкритичної екстракції біологічно активних речовин з рослинної сировини»).

Результати досліджень представлені у вигляді пояснювальної записки на 54 сторінках та містять 7 рисунків та 11 таблиць. Список використаних джерел містить 93 позицій.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1. Макаронні вироби як об'єкт харчування

На сьогодні у світі виробляється більш як 100 найменувань макаронних виробів, які відрізняються між собою сортом борошна, використанням різних видів збагачувачів або смакових добавок, формою, довжиною, шириною, розміром поперечного розрізу (діаметром).

Згідно ДСТУ 7043:2020 «Вироби макаронні. Загальні технічні умови», залежно від сорту борошна, яке використовують для виготовлення макаронних виробів, їх поділяють на сорти: вищий - з борошна вищого сорту та I - з борошна I сорту.

В залежності від рецептурного складу макаронні вироби можуть бути рекомендовані для загального використання, або у функціональному, дитячому, дієтичному харчуванні.

При використанні збагачувачів або смакових добавок до назви сорту додають назву збагачувача або смакової добавки. Іноді, до складу деяких макаронних виробів можуть входити кілька видів збагачувачів.

При виготовленні вітамінізованих макаронних виробів використовують вітамін B₁ (4 г на 100 кг борошна) або вітамін B₂ (4г/100 кг), або вітамін PP (22 г/100 кг). Існують рецептури безбілкових макаронних виробів для дієтичного і дитячого харчування.

Характеристики, які визначають високоякісні макаронні вироби, включають твердість і еластичність, менші втрати при варінні і липкість, простоту приготування і хорошу твердість після приготування. Проте, що стосується харчування, макаронні вироби, як правило, є висококалорійними продуктами з низьким вмістом поживних мікроелементів, таких як вітаміни та дієтичні мінерали, а також біологічно активних сполук [1]. Паста виготовляється з тіста без бродіння і є одним з найпопулярніших продуктів завдяки простоті приготування та обробки [2]. Макаронні вироби, як правило,

можуть бути виготовлені з манної крупи з твердих сортів пшениці або борошна з м'якої пшениці, в яку додають воду і потім піддають різним механічним впливам для отримання остаточної текстури [3]. Коли пшеничне борошно замішується та гідратується, його білки утворюють мережу, звану глютенем, яка надає пасті такі властивості, як еластичність, еластичність, міцність, зчеплення і утримання газів [4, 5]. Гідротермальна обробка макаронних виробів дозволяє желатинізувати крохмаль і зшивати білки. Крім вмісту вологи в тісті, робочі умови, такі як температура або тиск, або присутність невеликих молекул (сіль, цукор, кислоти) або макромолекул (гідроколлоїдів), можуть впливати на взаємодію крохмалю з водою і кінцеві властивості [6].

В даний час макаронні вироби представлені у всьому світі, будучи одним з найбільш споживаних продуктів харчування у всьому світі завдяки своїй живильній цінності, органолептичними характеристиками та простоті приготування [7-9].

1.2. Сучасні підходи до підвищення харчової цінності макаронних виробів

Сучасні вимоги споживачів вимагають підвищення якості харчових всіх харчових продуктів, в тому числі і макаронних виробів. Основними шляхами підвищення якості макаронних виробів на сьогодні є використання комбінованого рецептурного складу, використання нетрадиційної рослинної та вторинної сировини у якості збагачувачів.

При виробництві макаронних виробів використовують такі злакові культури, як пшениця, жито, ячмінь, жито, овес, рис, сорго, просо, кукурудза, гречка та ін. [10, 11]. При визначенні доцільності і ефективності використання добавок-збагачувачів для макаронного тесту необхідно враховувати вплив внесених добавок на якість готового продукту і технологічні параметри виробництва, що змінюються при зміні рецептури макаронного тесту.

При розробці рецептур і технологій виробництва макаронних виробів підвищеної харчової цінності необхідно проводити комплексні теоретичні та експериментальні дослідження для обґрунтування застосування добавок-збагачувачів і нетрадиційних видів сировини. Правильно підібрані сировину і добавки допоможуть гарантувати функціональність готових виробів, збільшення харчової та біологічної цінності, а також якість і безпечність готової продукції [12].

Дослідження в області виробництва макаронних виробів проводяться в багатьох країнах [13-16].

Авторами Lamacchia et al. досліджено зміни білків макаронних виробів в процесі сушіння і вплив на варильні властивості [17]. В роботі авторів Jukić et al. представлені дослідження зміни кольору макаронних виробів з різними добавками в процесі сушіння і варіння [18]. У роботах [19, 20] досліджено використання різних харчових волокон макаронних виробів.

Для розробки рецептури і технології виробництва макаронних виробів підвищеної харчової цінності представляють інтерес дослідження, спрямовані на оцінку впливу внесення збагачують добавок на технологічні властивості і якість готової продукції.

Результати досліджень мікроструктури і вичислених властивостей збагачених ячменем макаронних виробів при різних технологічних параметрах представлені у роботі [21]. У роботах [22, 23] досліджували якість і переварюваність макаронних виробів з ячменю і манної крупи. У роботах [24, 25] автори досліджували якість безглютенова макаронних виробів.

У роботі [25] описаний спосіб виробництва макаронних виробів з пшеничного борошна з харчової збагачувальної добавкою: зерновий і овочевий амарант. Виявлено, що додавання в макаронне тісто продуктів переробки амаранту овочевих і зернових сортів здатне збільшити біологічну цінність готових виробів і, що важливо, зменшити показники мікробного обсіменіння готових макаронних виробів.

У дослідженні [26] представили нові рецептури тіста для виробництва макаронних виробів з підвищеним вмістом білка і високими показниками якості. У рецептурний склад макаронного тесту запропоновано додавати до пшеничного борошна відомі білоквмісні бобові культури (горох, квасоля і сочевиця) у вигляді борошна, а також рябинове пюре. Внесення в тісто горобинового пюре сприяє збагаченню біологічно активними речовинами і покращує показник коліру.

Використання нетрадиційної сировини у виробництві макаронних виробів підвищеної харчової цінності розглянуто у роботі [26]. Так, в рецептуру макаронних виробів запропоновано додавання дієтичних пшеничних висівків які є джерелом біологічно активних речовин, таких як клітковина, мінеральні речовини, різні вітаміни, в тому числі групи В. Інша запропонована рецептура макаронного теста включає, крім пшеничного борошна і води, гороховий крохмаль. Описана рецептура тіста для виробництва макаронних виробів з пшеничного борошна і комплексної добавки. Добавка складається з горохової муки 10%, морквяної пасти 8,5% і кефіру 7,5% до маси пшеничного борошна.

Отримано хороші результати при додаванні до пшеничного борошна порошоків лікарських трав, багатих на вміст біологічно активних речовин: валеріана, пустирник, звіробій, подорожник, чебрець, ромашка, а також плодів глоду і шипшини. Описаний спосіб виробництва макаронних виробів з порошками плодів горобини сибірської, листя зніту, листа брусниці. При додаванні до пшеничного борошна порошку, отриманому з обліпихової шроту, готові макаронні вироби мають приємний жовтуватий колір і підвищену біологічну цінність [26].

Для виробництва макаронних виробів для споживачів з харчовою непереносимістю глютену описані дослідження борошна, що не містить глютен культур, таких як рисова, гречана, кукурудзяна [26]. До безглютенового борошна було додано різні овочеві і фруктові порошки, крохмаль, а також борошно гороху, сої, амаранту, пшона. Розглянутий ряд

досліджених добавок в макаронне тісто дозволяє розширити асортимент продукції, що випускається макаронної продукції з лікувально-профілактичними властивостями з використанням місцевої рослинної сировини.

Цікаві результати щодо вивчення поживної цінності безглютенових макаронних виробів з нетрадиційної сировини представлені у роботі [27].

Для збільшення біологічної цінності макаронної продукції і надання їм лікувально-профілактичних властивостей описані результати досліджень часткової заміни пшеничного борошна вищого гатунку на борошно з насіння льону [28]. Білки льняної муки істотно перевершують білки пшениці за амінокислотним складом, клітковини в лляній борошні міститься до 30% від загальної маси. Також лляна мука містить мінеральні речовини і вітаміни в легкозасвоюваній формі. У даній роботі автори також досліджували варильні властивості розроблених макаронних виробів, так як ці властивості визначають основні якісні показники і отримали хороші результати. У дослідженні дозування льняної муки в рецептурі рекомендується авторами 10% до маси пшеничного борошна, що підтверджено ними експериментально.

У роботі [29] представлена порівняльна характеристика рослинних компонентів розроблених авторами макаронних виробів за змістом в них білків, жирів, вуглеводів, харчових волокон, вітамінів, макро- і мікроелементів. Досліджували пшеничну, гречану і лляну борошно. Гречана і лляна борошно характеризуються більш високими показниками як харчової, так і біологічної цінності, ніж пшеничне борошно. Авторами відзначено, що вітаміни і мінеральні речовини представлені в гречаній борошні більш широко. Доведено, що використання гречаної або льняної муки як окремо, так і в суміші з іншими видами борошна, розширить сировинну базу і асортимент макаронної продукції з лікувально-профілактичними і функціональними властивостями, в тому числі для хворих на цукровий діабет і на целиацію.

Вивчена можливість та доцільність використання порошоків пастернаку і гарбуза з метою підвищення якості готових макаронних виробів [30]. Авторами дослідження визначено найбільш прийнятне кількість внесеного в

макаронне тісто овочевого порошку. У роботі детально представлені результати дослідження впливу внесеного овочевого порошку на фізико-хімічні та механічні властивості готових макаронних виробів, а також вплив на показники якості та структуру тіста. Було доведено, що додавання в макаронне тісто досліджених овочевих порошоків тягне за собою зниження адгезії тіста [30]. Зниження адгезії при введенні в макаронне тісто овочевих порошоків покращує технологічні характеристики, полегшує процес виробництва макаронних виробів.

Додавання овочевих порошоків в тісто для макаронних виробів покращує показники якості готових виробів, зовнішній вигляд, стан поверхні, колір; зміцнює структуру тіста, знижує його адгезію, а також, надає готовим макаронним виробам функціональні властивості корисні для організму людини.

Одним з перспективних глянців підвищення якості макаронних виробів є оптимізація параметрів технологічного процесу - замісу макаронного тесту з композитного борошна [31]. При дослідженні впливу типу замісу макаронного тесту з композитної борошна на якість готових виробів варіювали вологість макаронного тесту і температуру води для замісу. У роботі використовували, в залежності від вологості тесту, три типи замісу: твердий (28-29%), середній (29-31%), м'який (31-32%).

Залежно від температури тесту: холодний заміс - при температурі нижче 35 °С, теплий заміс - при температурі 35-65 °С, гарячий заміс – при температурі 65-75 °С. Для підвищення харчової і біологічної цінності макаронних виробів з зерна м'якої пшениці досліджували вплив внесення нутової борошна в макаронне тісто. Для визначення оптимальних параметрів замісу тіста готові вироби аналізували по міцності макаронних виробів і коефіцієнтам збільшення маси і об'єма. Визначено оптимальне співвідношення компонентів суміші (борошно пшеничне твердих сортів - 5%, борошно хлібопекарська м'яких сортів - 85%, борошно нутова - 10%) [31].

Склад макаронних виробів можна легко урізноманітнити для отримання різноманітних продуктів за допомогою відповідного збагачення і технологічних процесів [32]. Згодом макарони стали урізноманітнити не тільки своєю формою, але і додаванням інших інгредієнтів, таких як злаки, яйця, овочі, спеції, барвники та вітаміни [33]. Сучасні тенденції показують, що все більше уваги приділяється вживанню збагачених продуктів. Отже, оскільки макаронні вироби є основним продуктом харчування, який можна легко збагачувати нетрадиційними інгредієнтами, були розроблені конкретні макаронні вироби, що включають інгредієнти, які сприяють поліпшенню профілю амінокислот і жирних кислот, або ті, які націлені на збільшення вмісту харчових волокон або наявність вітамінів і дієтичних мінералів [34-37]. Крім того, біоактивні сполуки також можуть бути додані в макарони для збільшення їх користі для здоров'я, наприклад фенольні сполуки з антиоксидантною активністю, які можуть бути включені з природних джерел, таких як квіти, фрукти або кулінарні трави [38-40]. Однак, крім впливу на живильну цінність і захисну дію для здоров'я, додавання диференційованих інгредієнтів в рецептуру макаронних виробів може впливати на ефективність приготування (втрати при варінні, час приготування) та сенсорні характеристики (зовнішній вигляд, колір і текстура) [41-45].

1.3. Вдосконалення технології макаронних виробів шляхом їх збагачення мікробіодорослями

Макаронні вироби були збагачені для посилення їх поживні властивості з добавками з різних високобілкових джерел, такі як соєве борошно, соєві ізоляти, молоко та молочні продукти, сироваткові протеїни, дріжджові протеїнові концентрати та пророщена голубиногороху [46]. Це був спосіб, який виробники та промисловість знайшли як відповідь на зростаючий інтерес до так званих функціональних харчових продуктів, які мали певні фізіологічні переваги, такі як наявність антигіпертензивної, антиоксидантної або протизапальної дії, в на додаток до поживних та енергетичних переваг [47].

Споживачі в більшості розвинених країн звертаються до більш натуральних і харчові продукти, такі як продукти на основі морських водоростей, багато які мають неперевершені властивості для здоров'я [48]. Тепер можна знайти велику різноманітність продуктів, отриманих з макро- і мікроводоростей в багатьох країн і очікується величезне зростання їх споживання в майбутньому [49].

Японія відіграє важливу роль у використанні мікроводоростей та дослідженнях, спрямованих на розробку та використання мікроводоростей як інгредієнта та джерела широкого спектру метаболітів, таких як біоактивні сполуки, пігменти та незамінні жирні кислоти у харчових технологіях. Виробництво цих цінних біохімічних інгредієнтів базується на експлуатації їх відносно ефективного фотосинтетичного механізму, при використанні їхньої біомаси у резервуарах природних речовин високої промислової цінності [50]. Деякі дослідження були спрямовані щодо включення морських водоростей в макаронні вироби. Так, автори роботи [51] вивчили потенціал порошку зелених морських водоростей (*Monostroma nitidum*) у східному фреші яєчна локшина; у той час як дослідники у роботі [52] оцінили ефект різних рівнів бурих водоростей *Undaria pinnatifida* на сенсорні, кулінарні, поживні та біофункціональні якості макаронних виробів.

В даний час існує багато комерційних застосувань для мікроводорості. Наприклад, мікроводорості можна використовувати для посилення поживної цінності харчових продуктів і кормів, що зумовлено їх хімічним складом [53]. Вони також відіграють вирішальну роль в аквакультурах [54] та їх можна включати в косметику. Більш того, вони культивуються як джерело високоцінних молекул. Наприклад, поліненасичені жирні кислоти додають в дитячі суміші і харчові добавки та пігменти, як важливі натуральні барвники [55].

Мікроводорослі *Arthrospira (Spirulina)* рясно росте в деяких лужних озерах в Мексиці та Африці і використовувався як їжа місцевими жителями населення з давніх часів, завдяки високому вмісту білка і його чудова поживна

цінність, наприклад, високий вміст γ -ліноленової кислоти. Ця мікроводорість має різноманітний вплив на здоров'я, наприклад як гіпохолестеринемічний, пригнічення гіпертензії, захист проти ниркової недостатності, сприяння росту кишкових *Lactobacillus* та антиканцерогенну дію [56 - 60]. Активно використовується мікрофлора і в харчових технологіях України.

В останні роки з мікроводоростей розроблено кілька продуктів, багатих на каротиноїди та поліненасичені жирних кислот, а саме емульсії, забарвлені натуральними пігменти та біомаса мікроводоростей [61 - 63], желеподібні десерти [64, 65] та печиво, забарвлене біомасою мікроводоростей і збагачене поліненасичені жирні кислоти [66, 67].

1.4. Властивості спіруліни як харчового інгредієнта

Спіруліна — одноклітинна бактерія, або ж мікроводорість, яка набрала популярність за останні часи, коли люди поринули в тему здорового харчування. Водорість містить незамінні амінокислоти. Це єдиний рослинний продукт, білки якого містять весь повний набір амінокислот в необхідних пропорціях, включно з 8 незамінними. Спіруліна містить широкий спектр поживних речовин, починаючи від вітамінів, мінералів, незамінних жирних кислот, амінокислот, вуглеводів, нуклеїнових кислот, антиоксидантів, до різних типів пігментів та фітохімікатів, що мають важливе значення для харчування та здоров'я людини [58]. Спіруліна містить близько 95% поживних речовин, які вважаються необхідними в харчуванні людини, що робить його ідеальною їжею для людини.

Спіруліна привернула увагу дослідників та експертів з питань харчування людини завдяки високому вмісту макро- та мікроелементів [61].

Аналізи біохімічного складу роду *Arthrospira* виявив високий вміст білків, вітамінів, жирних кислот, мінералів, вуглеводів, нуклеїнових кислот і пігментів (табл. 1.1) [59].

Біохімічний поживний склад спіруліни з її мінімальними та максимальними значеннями. У всіх біохімічних аналізах харчового складу

спіруліни існують відмінності у значеннях кожної вимірної речовини та кожної проби. Це особливо пов'язано з тим, що спіруліна є природною їжею, тому вона може змінюватись, залежно від сезону року та місцевих умов (походження, тип штаму, якість врожаю та навколишнє середовище), у повідомленому вмісті їх поживні речовини [60].

Таблиця 1.1

Біохімічний склад спіруліни *Arthrospira* [59]

Показники	Мінімальне значення	Максимальне значення
Ліпіди	6%	7%
Вуглеводи	13%	16,50%
Сирий білок (% Nx6,25)	60%	71%
Вологість	4%	7,00%
Попіл	6,4%	9,00%
Сира клітковина	0,1%	0,90%
Хлорофіл А	6,10г/кг	7,60 г/кг

Білок складається з коротких ланцюжків незамінних та незамінних амінокислот, що робить його повноцінним та легкозасвоюваним білком. Спіруліна мстить майже всі вітаміни. Вважається найбагатшим природним джерелом токоферолів, він також містить весь комплекс В і бета-каротин як попередник вітаміну А. Мінерали та мікроелементи, такі як кальцій, магній, фосфор, калій, натрій, залізо, цинк, селен, молібден та хром, серед інших. Незамінні жирні кислоти та гамма-ліноленова кислота, останні присутні лише у грудному молоці та спіруліні. Легко засвоюються вуглеводи, такі як глюкоза та рамноза. Антиоксиданти, включаючи фікоціанін, бета-каротин та токофероли.

На сьогодні в Україні спіруліна вирощується з інокулятів, за допомогою яких підтримується догляд та чистота штаму, і його збирають за допомогою фільтруючих сіток та процесів сушіння. Це концентрована їжа за вмістом макро- та мікроелементів, яка може перевищувати або дорівнювати встановленим добовим рекомендаціям. Це один з найбільш компактних

продуктів харчування, оскільки раціонів від 2 до 5 грамів на день достатньо, щоб забезпечити людині його харчові переваги та терапевтичні ефекти. Цей продукт представляє високий коефіцієнт асиміляції та травлення, який перевищує 95%. Спіруліна є надзвичайно поживною їжею, але низькокалорійною. У ньому лише 19 ккал на кожні 5 грам.

При аналізі поживності спіруліни було виявлено значну подібність за якістю та кількістю порівняно з поживністю грудного молока. У таблиці 1.2 наведено порівняння поживних речовин, присутніх у 10 г спіруліни, та поживних речовин у 100 г грудного молока [64].

Таблиця 1.2

Хімічний склад та біологічна цінність спіруліни та грудного молока [64]

Показники	Внесок спіруліни на 10 г.	Внесок грудного молока на 100 г.
Енергія (ккал)	39	68.4
Білок (г)	5.8	1.15
Вуглеводи (г)	2.3	7
Клітковина (г)	0,36	0
Загальний жир (г)	0,72	4.03
Насичені жирні кислоти (г)	0,26	2031
Моносатні жирні кислоти (г)	0,067	1.5
Полісат жирних кислот (г)	0,285	0,435
Холестерин (мг)	0	25
Алкоголь (г)	0	0
Вода (г)	0,4	87,8
Кальцій (мг)	12	29
Залізо (мг)	2.8	0,058
Йод	0	5.1
Магній (мг)	19.5	3.2
Натрій (мг)	104	13
Калій (мг)	136	47
Фосфор (мг)	11	15
Віт. В1 Тіамін (мг)	0,23	0,015
Віт. В2 Рибофлавіда (мг)	0,36	0,038

Рівняння Ніацин (мг)	2.8	0,517
Віт. В6 Піродоксин (мг)	0,036	0,014
Фолієва кислота	9	8
Віт. В12, кобаламін (мг)	0,025	0,05
Віт. С, Ас. Аскорбін (мг)	0	6.5
Ретіно	57	69,5
Каротин В- Каротин	342	300
Вітамін D	0	0,07
Віт. Е, токофероли	0,5	0,27

Дефіцит заліза сьогодні є однією з найважливіших проблем харчування у світі. Це може бути спричинено не тільки дієтою з дефіцитом заліза, але поганою біодоступністю та низьким засвоєнням заліза, що надходить із раціону. Збагачення продуктів харчування залізом, а також вживання добавок із високими дозами заліза, як правило, значно зменшує дефіцит. При порівнянні біодоступності заліза в спіруліні з вмістом м'яса, дріжджів, пшеничного борошна та препаратів сульфату заліза та додавання аскорбінової кислоти в якості еталону було виявлено на 27% більше утворення феритинової сполуки з дієт зі спіруліною. Це дає можливість рекомендувати спіруліну як підходяще джерело заліза з високою біодоступністю для людей.

Результати досліджень, проведених в основному в Африці, з метою визначення впливу спіруліни на харчовий статус дітей, які недоїдають, вказують на те, що дієти зі спіруліною та іншими злаками можуть коригувати втрату ваги за короткий проміжок часу порівняно з іншими продуктами харчування. Спіруліна підтримує дієтичну реабілітацію ефективніше, ніж просто додавання білка та енергії до дитячого раціону [63].

З іншого боку, 60% спіруліни - це високоякісний білок завдяки легкій засвоюваності та присутності понад дев'яносто п'яти відсотків амінокислот. Крім того, у водних культурах, в яких росте мікроводорість, вона здатна поглинати найбільшу кількість мікроелементів. Отже, це їжа, багата такими мінералами, як кальцій, фосфор, магній, залізо та калій. Це найбагатше

природне джерело токоферолів (вітамін Е), містить у двадцять разів більше бета-каротину (попередника вітаміну А), ніж морква, і є важливим джерелом усіх вітамінів комплексу групи В [65].

Природа привілеїровала ці синьо-зелені водорості складними вуглеводами, які не зношують підшлункову залозу і підвищують якість життя хворого на цукровий діабет. Окрім грудного молока, це єдина натуральна їжа, багата гамма-ліноленовою кислотою, речовиною, яка має антиоксидантні властивості [66]. Хелатируючих речовин у натуральних продуктах харчування, які полегшують засвоєння, зазвичай бракує в лабораторних препаратах і їх багато в таких продуктах, як спіруліна.

РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Структурно-логічна схема проведення досліджень

Згідно з прийнятою у наукових дослідженнях методологією, на першому етапі нами було розроблено структурно-логічну схему майбутніх досліджень, яка є необхідною складовою при організації досліджень (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Структурно-логічної схеми досліджень

2.2. Використані мікроводорослі спіруліни

Спіруліна *Spirulina maxima* (виробник Еліт-фарм, Україна) була придбана у м. Полтава.

Орієнтовний хімічний склад ліофілізованих мікроводоростей визначено та подано виробником: 44,9% білка, 3,6% жиру, 30,9% золи. Дані показники співпадають з результатами досліджень складу спіруліни, наведеними у роботі [69].

2.3. Технологія виготовлення сирих макаронних виробів

Свіжу пасту виготовляли з комерційного борошна твердої крупи, яйця, води та мікроводоростей 5, 10 і 15% (мас./мас.). Суміш екструдували у вигляді спагетті (1,5 мм діаметр, 200 мм довжина) за допомогою побутового настільного комбайну (Biffinet, Італія).

Для більш високою гомогенізації і кращих реологічних характеристик макаронні вироби кілька разів пропускали через формувальну машину, кожен раз складаючи в перпендикулярних напрямках. Машина дозволяє регулювати товщину макаронів від 1 (тонше) до 6 (товщі). Досліджувані зразки макаронних виробів сушили в камері при 40 °С протягом 12 годин.

Аналогічним чином були підготовлені контрольні зразки пасту, без додавання спіруліни.

2.4. Технологія приготування (варіння) макаронних виробів

Оптимальний час приготування (варіння) визначали з урахуванням методик, запропонованих у роботах [64, 66].

Час приготування було встановлено як базове 10 хв у киплячій воді (на 150 г макаронних виробів було використано 3 л води, в яку було додано 1,5 г солі) (рис. 2.2). Проте, зразки були протестовані органолептично, щоб перевірити, чи буде це заздалегідь встановлений час приготування достатнім для досягнення бажаного статусу «*al dente*».

Протягом варіння пасту кожну хвилину аналізували, поки її стан не досягне оптимального часу приготування, який вважається часом необхідні для отримання повної клейстеризації крохмалю, показано зникнення білого центрального ядра після натискання нитка спагетті між двома прозорими предметними скельцями [70-72].



Рис. 2.2. Схема виробництва макаронних виробів

Після варіння макарони зливали через сито, процідили та аналізували на індекс набухання і водопоглинання. Використовували аліквоти води для приготування їжі для визначення втрат при варінні.

2.5. Методика визначення індексу набухання

Індекс набухання варених макаронних виробів оцінювали шляхом сушіння макаронних виробів зразків до постійної ваги при 103 °С [73] шляхом перетворення ваги різниці вареної та висушеної пасти в об'ємі ($\rho = 1000 \text{ кг м}^{-3}$), використовуючи такий вираз:

$$IH = (\text{об'єму води, яка поглинається під час варіння}) / (\text{вага після висихання}) \quad (2.1)$$

2.6. Методика визначення водопоглинання

Водопоглинання зціджених макаронних виробів було визначено як: [70, 73, 74] 32, 35, 36

$$ВП = [(\text{вага варених макаронів} - \text{вага сирих макаронів}) / \text{вага сирих макаронів}] \times 100. \quad (2.2)$$

2.7. Методика визначення втрат при варінні

Втрати при варінні у воді, зібраній для кожного зразка визначали випарюванням до постійної маси в повітряній печі 103 °С, відповідно до наступного виразу [70, 73, 74]:

$$ВВ = (\text{вага висушеного залишку води для варіння} / \text{вага сирих макаронів}) \times 100 \dots \dots \dots (2.3)$$

2.8. Методики визначення фізико-хімічних показників

Після приготування та варіння зразки макаронних виробів аналізували на наявність сирого білку (методом К'ельдаля); загальний жир визначали екстракцією Сокслета, вміст золи та вологи визначали за методиками, викладеними у роботі [71]. Вуглеводи обчислювали шляхом віднімання загального вмісту жиру, золи і білка від 100%.

2.9. Аналіз текстури зразків

Текстурний аналіз макаронних виробів визначався за допомогою аналізатора текстури TA-XTplus Texture Analyzer (Stable Micro Systems, Великобританія) із використанням 5 кг навантаження, за методом, викладеним у роботах [75, 76]. Твердість макаронів була визначена шляхом вимірювання необхідної сили різання (Н). Нарізання смужок сирих і варених макаронів здійснювали за допомогою набору лез гільйотина (HDP/BSG). Кожен зразок макаронів був проаналізований сирым і вареним за оптимальний час приготування [72]. Вимірювання повторювали п'ять разів у дублікаті для кожного зразка.

2.10. Вимірювання кольору зразків

Колір зразків макаронних виробів вимірювали інструментально за допомогою колориметра Minolta CR-300 (Японія) зі стандартним освітлювачем D65 і кутом зору 2^0 . Результати були виражені в термінах L^* , освітленість (при зростанні значень від 0 до 100%); a^* , почервоніння до зеленість (від 60 до -60 позитивних до негативних значень відповідно); b^* , від жовтизни до блакитності (від 60 до -60 позитивних до негативних значень, відповідно), за системою CIELAB. Колірність, C^*_{ab} (насиченість) і відтінок h_{ab} також розраховувалися, як визначено наступні рівняння [75, 76]:

$$C^*_{ab} = [(a^{*2} + b^{*2})]^{1/2}; \quad h_{ab} = \arctan(b^*/a^*). \quad (2.4)$$

Загальна різниця кольорів між контролем і досліджуваними зразками з включеними в них мікрководоростями визначали згідно до наступного рівняння:

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (2.5)$$

Вимірювання проводилися в однакових умовах освітлення, використовуючи білий стандарт ($Y = 92,7$; $x = 0,3161$; $y = 0,3322$), при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, при повторюваності у шість разів та у двох примірниках.

2.11. Методики проведення сенсорного аналізу

Дослідження сенсорного аналізу сирої пасти (контроль і збагачених мікроводоростями) було проведено з метою оцінки впливу включення біомаси мікроводоростей на сенсорні характеристики. Непідготовлена група з 43 осіб протестувала варені макарони, отримані при оптимальному часі варіння (5–6 хв), для чотири сенсорні властивості: колір, запах, смак, текстуру і загальне прийняття.

Кожну рецептуру макаронних виробів готували та одразу подавали на білі пластикові тарілки. Зразки подавали у випадковому порядку учасників дискусії, яких попросили спробувати зразки та оцінити атрибути від «не подобається» (бал 1) до «дуже подобається» (бал 7). Також до учасників були дискусійні запитали, чи не помітили вони дивний смак у зварених макаронах щоб оцінити цю дивність від «непомітної» (оцінка 1) до «різницю можна виявити» (оцінка 7).

2.12. Статистичний аналіз результатів експериментів

Для підтвердження того, що результати, отримані у вигляді середнього значення, статистично різнилися між зразками, був застосований статистичний аналіз до даних, отриманих для всіх властивостей: хімічного аналізу, кольору і текстури. Для всіх статистичних аналізів використовувалося програмне забезпечення STATISTICA 10.0 та EXCEL, і розглянутий рівень значущості становив 5%.

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ВЛАСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Дослідження фізико-хімічного складу зразків макаронних виробів

Фізико-хімічний склад сирих і варених макаронних виробів представлений у табл. 3.1, виражений як % мас./мас.

Таблиця 3.1

Показники фізико-хімічних властивостей макаронних виробів сирих та варених

Зразки	Вміст вологи, %	Вуглеводи, %	Зола, %	Жири, %	Білок, %
Сирі макаронні вироби					
Контроль	30,0	59,0	1,2	1,0	9,8
Додано 5% Сп	33,0	54,9	1,4	0,9	9,8
Додано 10% Сп	31,5	56,2	1,5	1,0	9,8
Додано 15% Сп	33,5	53,6	2,0	1,1	9,8
Варені макаронні вироби					
Контроль	65,1	28,4	1,2	0,8	4,5
Додано 5% Сп	74,1	17,3	1,3	0,8	6,5
Додано 10% Сп	67,9	22,4	1,3	0,9	7,5
Додано 15% Сп	69,9	18,2	1,4	1,0	9,5

Рисунки 3.1 та 3.2 надають уявлення про зміни фізико-хімічних властивостей сирих макаронних виробів після їхнього приготування (варіння).

Значення вологи коливаються між 30–33,5% для сирих макаронних виробів і 65,1–74,1% (мас.) для варених макаронних виробів, (рис. 3.1).

Свіжі макаронні вироби зазвичай мають значення вологості 31–32%, як оцінено в роботі [77]. Отже, а другий процес сушіння буде необхідним перед пакуванням, якщо цей продукт призначений для зберігання та продажу свіжих макаронних виробів.

Вміст вуглеводів після варіння камаронних виробів зменшується у 2-2,5 рази. Якщо у контрольному зразку вміст вуглеводів при варінні зменшився практично у 2,1 рази (з 59% зменшилося до 28,4%), то при варінні макаронних виробів з доданою спіруліною зменшення вмісту вуглеводів відбулося у 3,2 рази (при 5% спіруліни), у 2,5 рази (при 10% спіруліни) та у 2,9 рази (при 15% спіруліни).

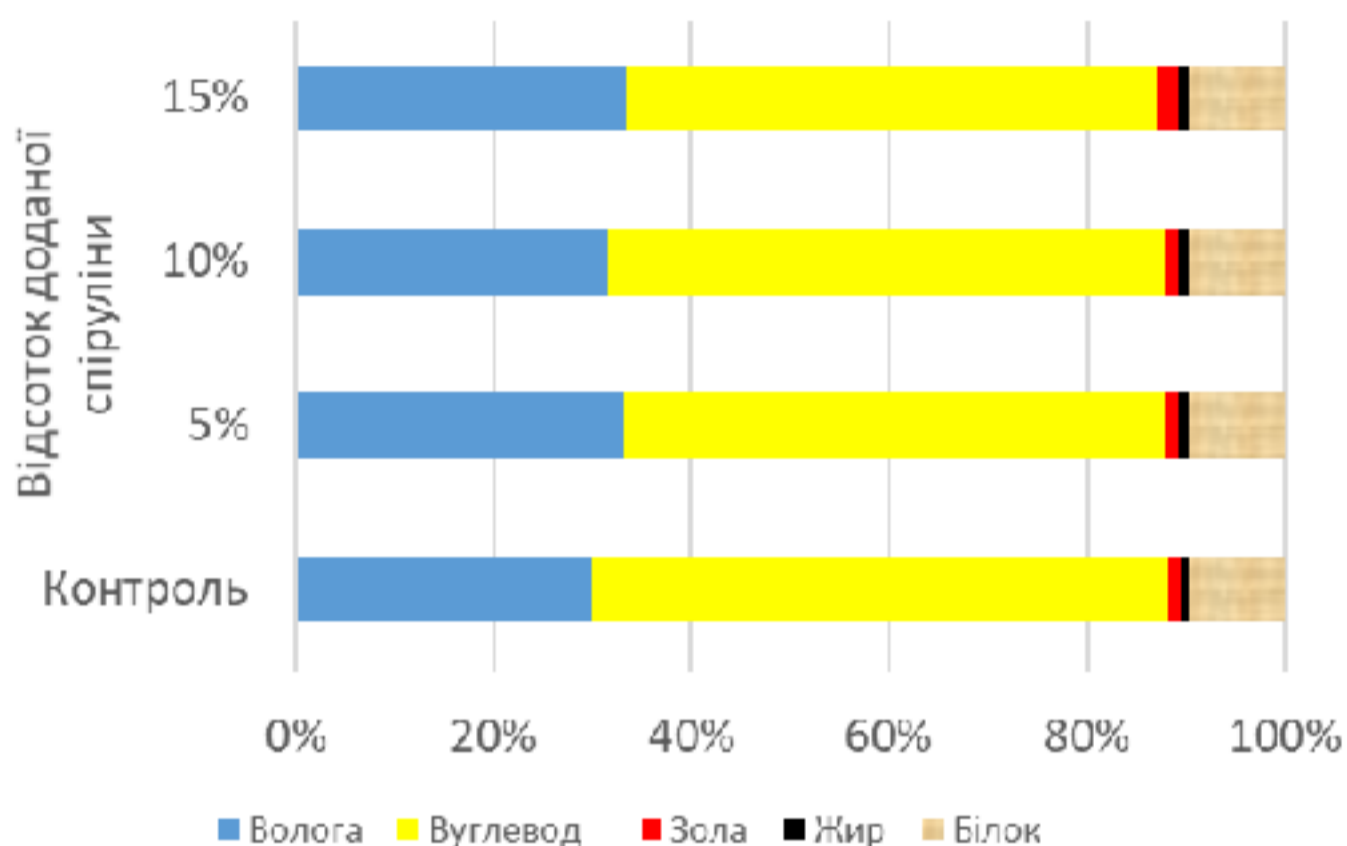


Рис. 3.1. Фізико-хімічних властивості сирих макаронних виробів

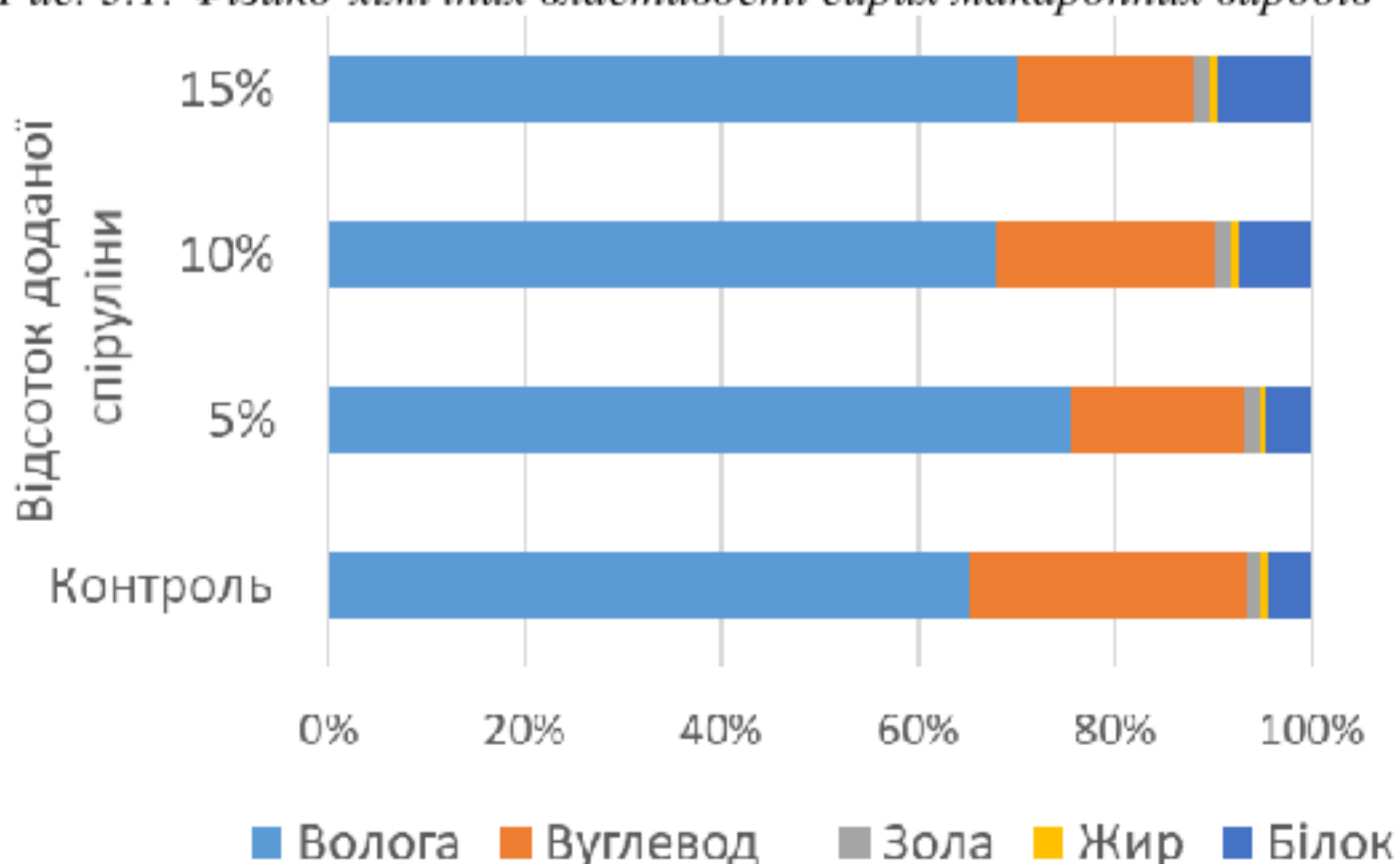


Рис. 3.2. Фізико-хімічних властивості варених макаронних виробів

Вуглеводи є основним компонентом пасты, що представляє 59% (мас./мас.) контрольної сировини, яка переважно складається з крохмалю. При включенні мікроводоростей у рецептурний склад, манна крупа замінена масою спіруліни; отже, вміст вуглеводів у зразках макаронів, збагачених спіруліною зменшується по відношенню до контрольного зразка. Це ефект більш виражений у варених макаронних виробках завдяки міграції амілози в варильну воду [71, 78].

При варінні клейстеризація крохмалю проходить у два етапи необоротного процесу: (1) початкове набухання гранул і (2) розчинення амілози у гарячій воді. Далі амілоза утворює колоїдний розчин, який має тенденцію осідати у вигляді товстого шару на поверхню клейстеризованих гранул, що утримується хімічними зв'язками, які існують у гранулах [78].

Текстура макаронних виробів тісно пов'язана з їх хімічним складом (білки, жир, волога та структурні вуглеводи, наприклад, целюлоза, крохмаль і пектин). Зміни в текстурі викликані змінами у волозі, жирах, гідролізі полімерних вуглеводів і коагуляція або гідроліз білків проаналізовані у роботах [79, 80].

В сирих макаронних виробках вміст білку становив 9,8%, але після варіння (рис. 3.2) вміст білка в усіх зразках зменшився у порівнянні з відповідними сирими макаронами. Вміст білка у варених макаронних виробках, збагачених спіруліною, був значним вище (6,5–9,5%) порівняно з контролем зразок (4,5%), завдяки більш високому вмісту білка в мікроводоростях спіруліни. Слід зазначити, що вміст білку у варених макаронних виробках збільшувався при збільшенні вмісту спіруліни з 6,5% до 9,5%.

Процес приготування призвело до зменшення вмісту жиру у всіх макаронних виробках (контроль 0,7 %; збагачені макарони 0,7–1,1 %). Не було достовірних відмінностей між загальним вмістом жиру в контрольній та збагаченої мікроводоростями пасты.

Включення мікроводоростей у сирі макаронні вироби призвело до збільшення загальної золи (1,2–1,8 %) порівняно з контролем (1,2 %), особливо

для макаронних виробів, приготованих з більшою концентрацією біомаси мікроводоростей. Після варіння зольність зменшувалася значно, що є результатом міграції іонів у воду для приготування їжі.

Енергетичну цінність контрольних зразків та сирих макаронних виробів, приготовлені з додаванням мікроводоростей спіруліни представлено на рис. 3.3. Контрольний зразок має енергетичну цінність 1720 кДж (405,2 ккал), подібну до макаронних виробів з включенням біомаси мікроводоростей, яка коливається від 1716 до 1745 кДж (404,5 – 409,6 ккал).

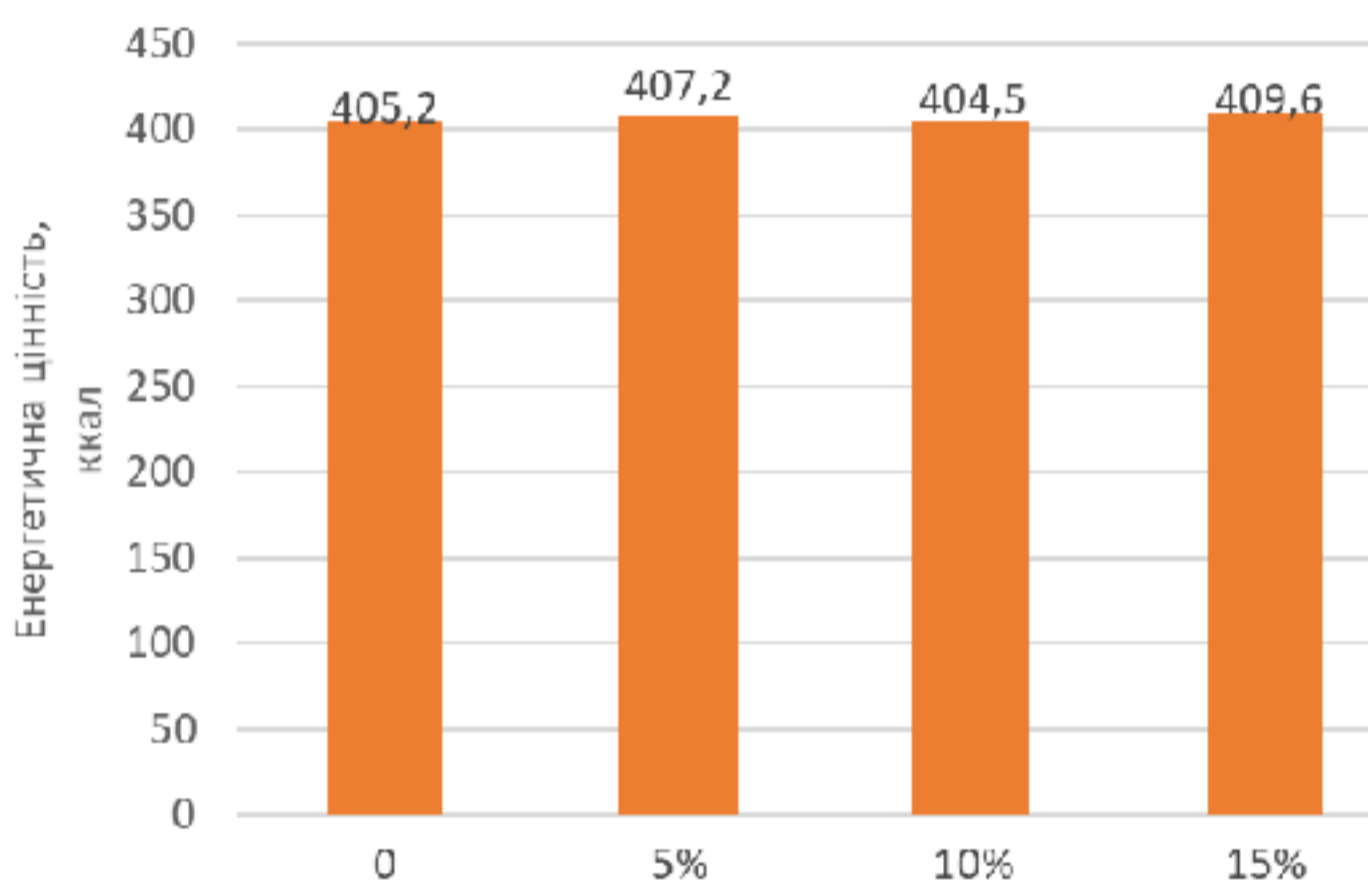


Рис. 3.3. Енергетична цінність макаронних виробів із включенням біомаси мікроводоростей

Отже, макарони, приготовані з додаванням мікроводоростей спіруліни мають енергетичну цінність, аналогічну контрольному зразку.

Можливе додавання спіруліни до пасти є привабливий спосіб збільшити щоденне споживання функціональних поживних речовин, особливо антиоксидантних та поліненасичених жирні кислоти, що дуже важливо для зміцнення здоров'я та профілактики багатьох розладів різного роду, таких як

виразка шлунка, запор, анемія, гіпертонія, цукровий діабет, гіпотрофія та неврози немовлят [56, 58, 59].

3.2. Технологічні показники зварених макаронних виробів із включенням мікроводоростей

Параметри варіння макаронних виробів – оптимальне розварювання час, втрати при варінні, індекс набухання та водопоглинання – представлені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Технологічні показники зварених макаронних виробів із включенням мікроводоростей

Зразок	Оптимальний час приготування, (хв)	Втрати при варінні, (%)	Індекс набухання (мл г ⁻¹ суха речовина)	Водопоглинання, (%)
Контроль	5	3.1 ± 0.4	0.87 ± 0.11	69.2 ± 7.0
Додано 5% Сп.	5	3.1 ± 0.2	1.1 ± 0.1	70.1 ± 6.3
Додано 10% Сп.	5	2.2 ± 0.2	1.0 ± 0.1	94.6 ± 6.2
Додано 15% Сп.	6	2.9 ± 0.2	1.0 ± 0.1	89.5 ± 2.9

Оптимальний час варіння залежить в першу чергу від норми проникнення води та клейстеризації крохмалю [70]. Макаронні вироби, приготовані з додавання спіруліни мають оптимальний час приготування, подібний до контролю, але при збільшенні маси доданої спіруліни (15%), оптимальний час приготування збільшився з 5 до 6 хв. Це може бути пов'язане з хімічним складом мікроводоростей, оскільки в мікроводоростях *Spirulina*, основним компонентом продукту є глікоген [81].

Втрати при варінні є важливим загальним показником продуктивності приготування спагетті як для споживачів, так і для галузі громадського харчування [72], головним чином під впливом розчинення та вивільнення клейстеризації крохмалю з поверхні макаронних виробів через воду для варіння. Включення мікроводоростей у макарони не змінює процес

приготування макаронів, але втрати при варіння зразків зі спіруліною зменшуються і складають близько 3–4%.

Макаронні вироби, приготовані з використанням мікроводоростей, мають показники вищі показники індексу набухання у порівнянні з контрольним зразком (табл. 3.2). Це є результатом здатності мікроводорості до поглинання води та утримання її в білку–крохмалі. Відповідно, показник водопоглинання також збільшився: додавання біомаси мікроводоростей призвело до його зростання з 69,2% у контрольних макаронних виробках до 89,5–94,5% у макаронних виробках із мікроводоростями 10 та 15% спіруліни. Ці зміни вмісту вологи в дослідних зразках, можуть бути наслідком збільшення водоутримуючої здатності полісахаридів спіруліни під час формування тіста.

Аналогічні результати спостерігалися в дослідженнях інших авторів [51, 52], які довели, що додавання сушених морських водоростей до китайської локшини та пасти, утворює гідратацією, спричиненою гідроколоїдами, присутніми в порошку морських водоростей.

3.3. Аналіз текстура досліджуваних зразків

Текстурні параметри, особливо твердість, є важливими характеристиками для якості приготування пасти. Оптимізація параметрів текстури є критичним моментом для забезпечення прийняття розробленого продукції споживачами.

Результати твердості макаронних виробів представлені на рис. 3.4. Додавання мікроводоростей призвело до значного збільшення твердості сирих макаронних виробів (2,0 – 2,5 Н) порівняно з контролем зразок (1,2 Н) (рис. 3.4). Отримані результати співпадають з результатами, представленими у роботі [67].

У даному випадку більші значення твердості (1,9–2,5 Н), що може бути пов'язано з вищим вмістом білка і нижчий вміст жиру [79].

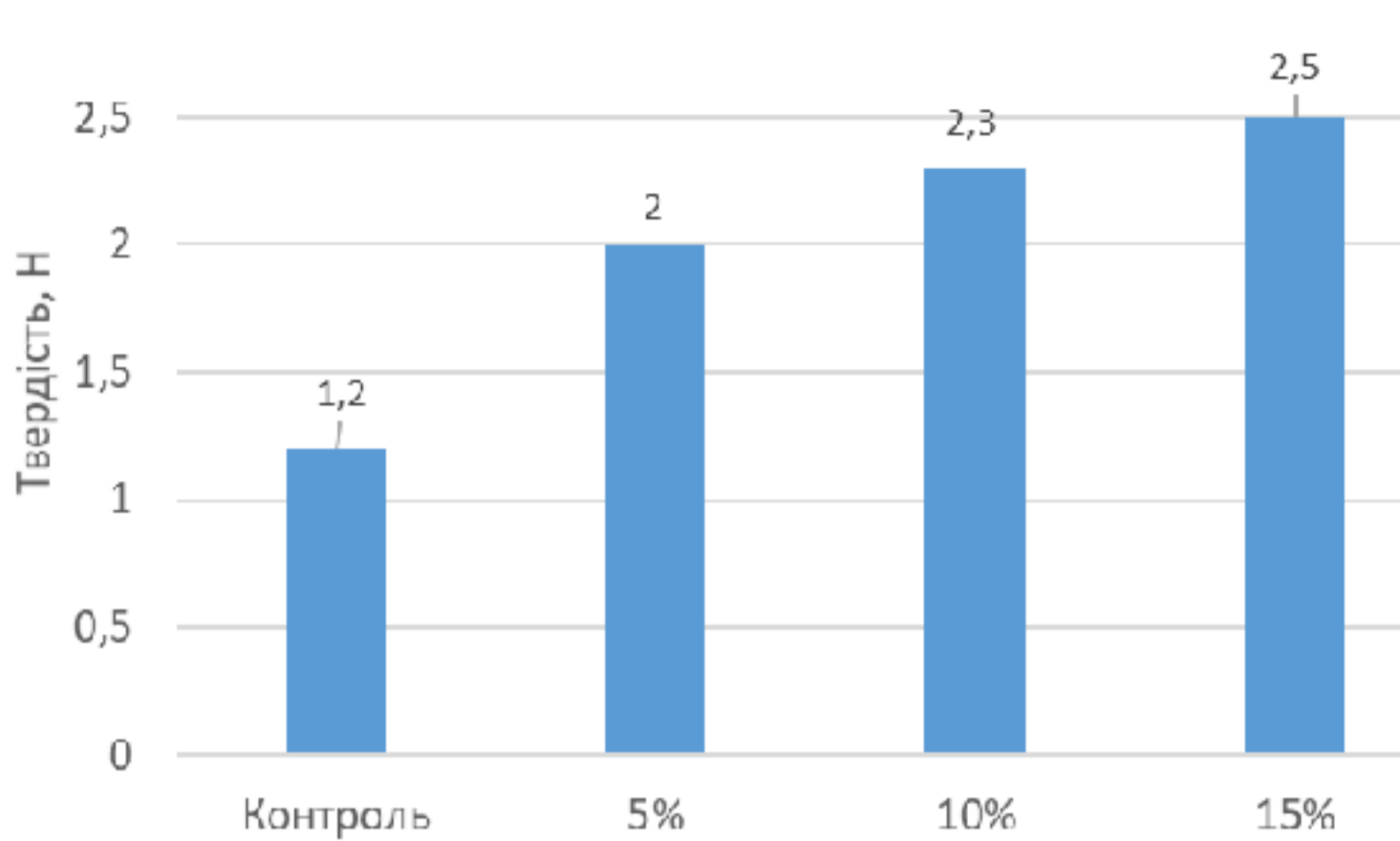


Рис. 3.4. Твердість контрольного та дослідних зразків сирих макаронних виробів з додаванням спіруліни

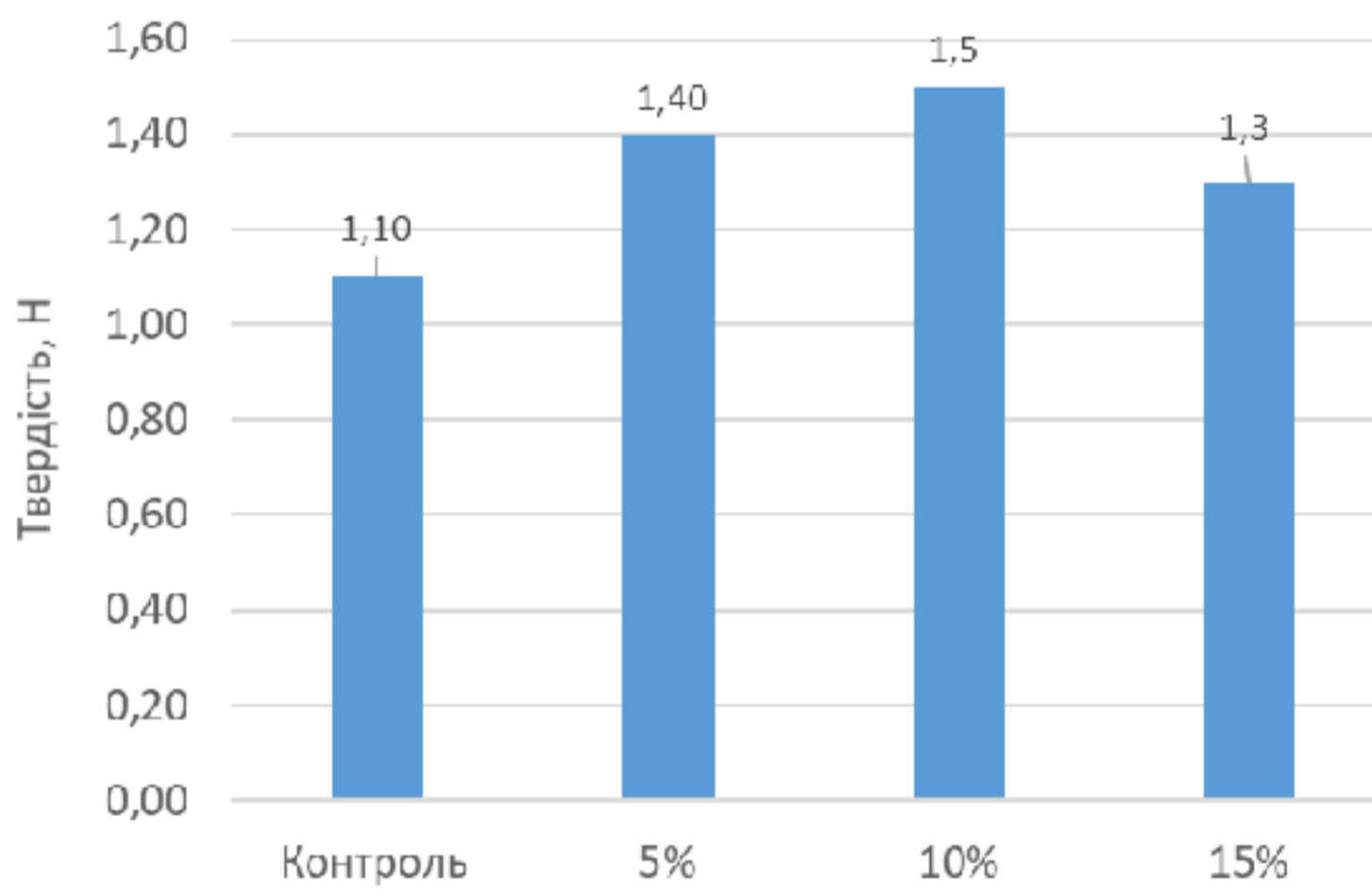


Рис. 3.5. Твердість контрольного та дослідних зразків варених макаронних виробів з додаванням спіруліни

Така більш висока твердість макаронних виробів може бути пов'язана з більшим вмістом білка вміст мікрводоростей макаронних виробів і нижчим

поглинанням води, порівняно до макаронів з твердих сортів пшениці. Автори роботи [82] вказали, що підкріплення глютенної мережі викликає додаткове встановлення дисульфідної зв'язки (S-S), що утворюються між сульфгідрильними (-SH) групами залишки цистеїну, в білках глютену. Подібні результати були повідомлені і авторами роботи [83], які для збагачення макаронних виробів використовували борошно бобових (квасоля, квасоля, сочевиця, зелений горошок). Автори досліджень [84, 85] виявили подібну поведінку коли до макаронних виробів додавали ксантан і камедь ріжкового дерева, як і автори роботи [86], коли були включені ізоляти сироваткового білка в яєчну локшину [87].

Твердість відварених макаронних виробів пов'язана з гранулами крохмалю зволоження, під час процесу приготування та в подальшому часткове вбудовування клейстеризованих гранул крохмалю в матрицю денатурованого білку [84, 88-90]. Крім того, відмінності у значеннях твердості в основному виникають через відмінності у фракції глютену. Збільшення кількості клейковини призводить до вираженого структурного зміцнення більшою стійкістю до сил різання та розтягування [91, 92].

Додавання функціональних інгредієнтів може призвести або до підвищення або зниження текстурних властивостей пасти. Автори роботи [91] вивчали часткову заміну (до 20%) манної крупи білковим ізолятом люпину, що забезпечує високу міцність сирих та варених макаронів. Додавання гідроколоїдів і клітковини призводять до збільшення твердості макаронних виробів та стійкого крохмалю, як спостерігали автори дослідження [92]. Навпаки, макаронні вироби з підвищеним вмістом клітковини (горох, інулін і гуар), показали прогресивне зниження твердості макаронних виробів зі збільшенням концентрації клітковини, пов'язаної з роллю доданої клітковини в руйнуванні білково-крохмальної матриці всередині мікроструктури макаронних виробів [72]. Однак, автори роботи [51] при вивченні додавання порошку морських водоростей (0-8%), що призводило до зменшення твердості вареної пасти, зробили висновок, що водорості не можуть

функціонувати як ефективний інгредієнт для зміцнення мережових структур локшини.

Таким чином, результати наших досліджень свідчать, що значення твердості варених макаронних виробів збагачених спіруліною (5–15%) відрізняється від контрольного зразка та становить 1,4 Н при 5% спіруліни; 1,5 при 10% та 1,3% при 15% відповідно (рис. 3.5). Як і очікувалося, зниження твердості спостерігався під час варіння за оптимального часу приготування для кожного зразок (5–6 хв).

3.4. Аналіз коліру досліджуваних зразків

Зовнішній вигляд макаронних виробів є, серед іншого, фактором, який визначає їх якість і перше враження, яке створює споживач харчових продуктів. Колір, як один з аспектів зовнішнього вигляду, відіграє важливу роль прийнятність харчового продукту, будучи визначальним фактором його ідентифікації, як показник якості, свіжості, збереження стан, очікуваний смак і комерційну цінність.

Традиційно манна паста має світло-жовтий колір, отримані з β -каротину. За останні кілька років кілька було виготовлено кілька кольорових макаронних виробів з використанням рослинних інгредієнтів, такі як шпинат, томати, морква та буряк. Досягнення привабливості і стабільне забарвлення є важливою інновацією для цих типів продукт. Мікродорості можуть бути стійкою альтернативою як барвник агентів, що призводить до отримання продуктів, схожих на макарони на основі овочів які мають поживні переваги перед синтетичними барвниками.

Паста, приготована зі спіруліною візуально дуже привабливі (рис. 3.6), представлена у зеленому кольоровому забарвленні.



Рис. 3.6. Паста, що містить біомасу спіруліни

При інструментальних кольорових вимірюваннях зниження в освітленості спостерігається при додаванні мікрводоростей ($L^* = 44,8-65,4$) порівняно з контрольною пастою з манної крупи ($L^* = 77,0$) (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Результати приборного вимірювання кольорів сирих та варених макаронних виробів

Зразки	L		a		b	
	Сирі	Варені	Сирі	Варені	Сирі	Варені
Контроль	76.34 ± 2.31	72.02 ± 0.76	-1.54 ± 0.57	-3.75 ± 0.32	26.16 ± 2.31	11.47 ± 1.88
Додано 5% Сп.	45.10 ± 0.76	56.09 ± 0.84	-6.07 ± 3.37	-1.91 ± 0.29	5.14 ± 0.25	16.89 ± 0.93
Додано 10% Сп.	35.09 ± 0.45	44.69 ± 2.32	-2.24 ± 0.32	-0.31 ± 0.15	1.73 ± 1.94	11.99 ± 1.99
Додано 15% Сп.	33.25 ± 0.39	43.11 ± 0.57	-2.22 ± 0.30	-1.26 ± 0.37	0.22 ± 0.23	10.01 ± 0.93

Примітка: значення представлені як середне ± стандартне відхилення, $n = 3$.

Додавання спіруліни з негативним a^* та позитивним b^* , призводить до зелених відтінків виробів ($h^{\circ}_{ab} = 121-155$), завдяки вмісту хлорофілу в цих мікробродорості. Значення зеленості ($-a^*$) вищі порівняно з комерційною шпинатною лазаньєю, охарактеризованою у роботі [93].

Втрата кольору в результаті процесу варіння пасти виражається через загальну різницю кольорів (ΔE^*) між сирими та вареними зразками (рис. 3.7).

За рахунок збільшення концентрації мікробродоростей (5 – 15%) спостерігалася менша втрата кольору, яка вказує на стійкість виробу до термічної процедури варіння. Однак дифузія пігментів у воду для приготування їжі візуально спостерігалася, ймовірно завдяки гідрофільному характеру фікоціаніну, головного пігменту цих мікробродоростей [79]. Крім дифузії пігменту у воду, втрата кольору макаронних виробів також може бути пов'язана з окисленням пігменту мікробродоростей при термічній обробці.

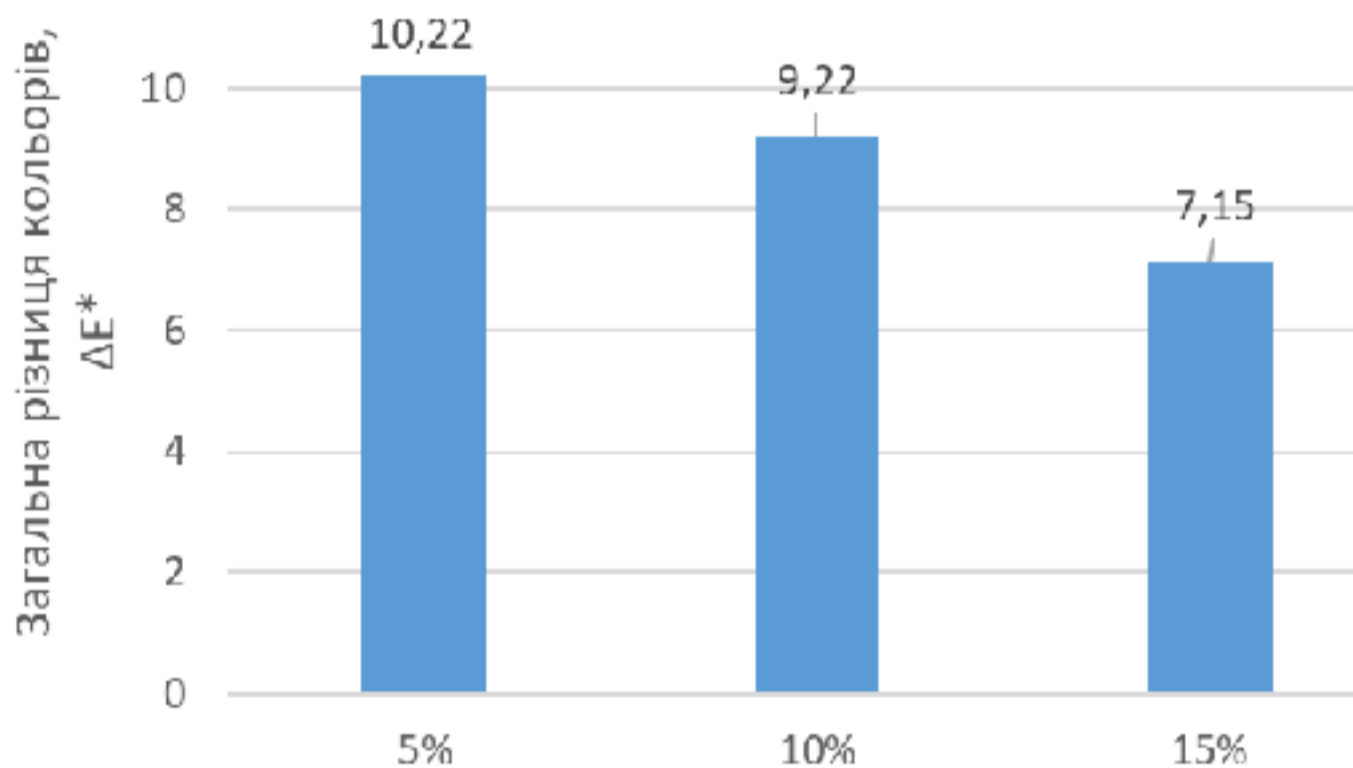


Рис. 3.7. Загальна різниця кольорів (E^*) між сирими та вареними зразками макаронних виробів із включенням біомаси спіруліни

3.5. Аналіз сенсорних властивостей досліджуваних зразків

Сенсорний аналіз макаронних виробів є важливим внеском у їх можливу майбутню комерціалізацію, оскільки це дає перспективу сприйняття потенційним споживачем. Усі сенсорні параметри для всіх зразків, оцінені

позитивно (>3) показуючи хороше прийняття розроблених продуктів учасниками панелі (табл 3.4 та рис. 3.8).

Таблиця 3.4

Результати органолептичного оцінювання варених дослідних зразків макаронних виробів у порівнянні з контрольним зразком

Зразки	Колір	Запах	Смак	Текстура	Загальне прийняття
Контроль	7,0	6,9	7,0	7,0	7,0
Додавання 5% спіруліни	6,5	6,1	5,7	6,8	4,9
Додавання 10 % спіруліни	6,9	6,9	6,0	7,0	7,0
Додавання 15 % спіруліни	6,7	6,3	5,3	7,0	5,9

— Контроль — Додавання 5% спіруліни
 — Додавання 10% спіруліни — Додавання 15% спіруліни



Рис. 3.8. Результати органолептичного оцінювання варених дослідних зразків макаронних виробів у порівнянні з контрольним зразком

На жаль отримана профілограма у даному вигляді не дає можливості отримати однозначне уявлення про переваги одного з розроблених зразків у порівнянні з іншими та контрольним зразком. Враховуючи даний факт, за

результатами вже проведених анкетувань, була побулована профілограма, яка порівнює не властивості, а зразки макаронних виробів (табл. 3.5 та рис. 3.9).

Таблиця 3.5

Результати органолептичного оцінювання варених дослідних зразків макаронних виробів у порівнянні з контрольним зразком

Критерії	Контроль	Додавання 5% спіруліни	Додавання 10% спіруліни	Додавання 15% спіруліни
Колір	7,0	6,5	6,9	6,7
Запах	6,9	6,1	6,9	6,3
Смак	7,0	5,7	6,8	5,3
Текстура	7,0	6,8	7,0	7,0
Загальне враження	7,0	4,9	7,0	5,9



Рис. 3.9. Порівняння досліджуваних зразків за результатами органолептичного оцінювання варених дослідних зразків макаронних виробів

З точки зору оцінки кольору, учасники дискусії явно віддали перевагу макарони з мікрводоростей, особливо з вищим вмістом мікрводоростей, в порівнянні з контрольними зразками (без мікрводорості). Найвищу оцінку отримав зразок з додаванням 10% спірулні.

Щодо властивостей текстури та запаху, то не було достовірних відмінностей та учасники дискусії не виявили суттєвої різниці між дослідними макаронними виробами з біомасою мікрводоростей і контрольним зразком. З точки зору загальної оцінки, усі зразки мали високий рівень схвалення учасниками дискусії.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

Мікродорості здатні підвищувати поживний вміст звичайних харчових продуктів і, отже, позитивно впливати здоров'я людини, завдяки їх оригінальному хімічному складу, тому дослідження, спрямовані на наукове обґрунтування параметрів технології та дослідження якості макаронних виробів, виготовлених з різним вмістом мікродоростей (*Spirulina maxima*) є актуальними.

Додавання мікродоростей (*Spirulina maxima*) призводить до підвищення параметрів якості порівняно з контрольним зразком макаронних виробів.

Новий макаронний продукт був виготовлений шляхом додавання біомаси мікродоростей до манного борошна у кількості 5%, 10% та 15%. Паста, приготовані з *Spirulina maxima* мають більш корисний склад хімічних речовин, ніж контрольні зразки макаронів, а саме, збільшено вміст білку, загального жиру і золи та зменшено вміст вуглеводів.

На якість варених розроблених макаронних виробів не вплинуло шляхом включення мікродоростей у свіжу пасту. Включення мікродоростей у макарони не змінює процес приготування макаронів, але втрати при варіння зразків зі спіруліною зменшуються і складають близько 3–4%.

Макаронні вироби, приготовані з використанням мікродоростей, мають вищі значення показнику індексу набухання у порівнянні з контрольним зразком.

Макаронні вироби, приготовані з додаванням мікродоростей спіруліни мають енергетичну цінність, яка коливається від 1716 до 1745 кДж (404,5 – 409,6 ккал), аналогічну контрольному зразку - 1720 кДж (405,2 ккал).

Паста, збагачена мікродоростями, має привабливий зелений колір завдяки основним пігментам які існують у водоростях (хлорофіли). Колір паста з мікродоростей залишався відносно стабільним після варіння.

Додавання мікроводоростей призвело до збільшення твердості сирих макаронних виробів порівняно з контрольним зразком. З усіх досліджених мікроводоростей збільшення біомаси концентрація (5–15%) призвела до загальної тенденції до підвищення твердості макаронних виробів.

За результатами експертного оцінювання органолептичних властивостей доведено, що розроблені макаронні вироби не поступаються, а за деякими показниками і перевищують аналогічні показники у контрольному зразку.

Отримані результати можуть бути використані на підприємствах, задіяних у виробництві макаронних виробів та у навчальному процесі при підготовці здобувачів за спеціальністю «Харчові технології».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Coello, K.E., Peñas, E., Martinez-Villaluenga, C., Elena Cartea, M., Velasco, P., Frias, J. Pasta Products Enriched with Moringa Sprout Powder as Nutritive Dense Foods with Bioactive Potential. *Food Chem.* 2021, 360, 130032.
2. Brochard, M. Placement Report-Development of Innovative Pasta Formulations; Polytechnic Institute of Viseu: Viseu, Portugal, 2019.
3. Arcangelis, E., Cuomo, F., Trivisonno, M.C., Marconi, E., Messia, M.C. Gelatinization and Pasta Making Conditions for Buckwheat Gluten-Free Pasta. *J. Cereal Sci.* 2020, 95, 103073.
4. Singh, S., Singh, N. Relationship of Polymeric Proteins and Empirical Dough Rheology with Dynamic Rheology of Dough and Gluten from Different Wheat Varieties. *Food Hydrocoll.* 2013, 33, 342–348.
5. Bondt, Y., Hermans, W., Moldenaers, P., Courtin, C.M. Selective Modification of Wheat Bran Affects Its Impact on Gluten-Starch Dough Rheology, Microstructure and Bread Volume. *Food Hydrocoll.* 2020, 106348.
6. Donnez, D., Pinho, L., Patel, B., Desam, P., Campanella, O. Characterization of Starch–Water Interactions and Their Effects on Two Key Functional Properties: Starch Gelatinization and Retrogradation. *Curr. Opin. Food Sci.* 2021. *Appl. Sci.* 2021, 11, 6617 17 of 19.
7. Thomas, J.M., Dourish, C.T., Higgs, S. Effects of Awareness That Food Intake Is Being Measured by a Universal Eating Monitor on the Consumption of a Pasta Lunch and a Cookie Snack in Healthy Female Volunteers. *Appetite* 2015, 92, 247–251.
8. Martini, D., Brusamolino, A., Del Bo, C., Laureati, M., Porrini, M., Riso, P. Effect of Fiber and Protein-Enriched Pasta Formulations on Satiety-Related Sensations and Afternoon Snacking in Italian Healthy Female Subjects. *Physiol. Behav.* 2018, 185, 61–69.

9. Papanikolaou, Y. Pasta Foods Are Associated with Improved Nutrient Intakes, Increased Whole Grain and Vegetable Consumption and Nutrient Adequacy in US Adults. *J. Acad. Nutr. Diet.* 2019, 119, A147.

10. Аптрахимов, Д. Р. Совершенствование технологии макаронных изделий с добавлением растительного сырья (патентный поиск) / Д. Р. Аптрахимов, М. Б. Ребезов, Ф. Х. Смольникова // Молодой ученый. – 2015. – Т. 93, № 13. – С. 90–92.

11. Коргина, Т. В. Расширение ассортимента макаронных изделий за счет использования растительного сырья / Т. В. Коргина, Г. А. Осипова, Д. С. Сечина // Хлебопродукты. – 2014. – № 2. – С. 39–41.

12. Корячкина, С. Я. Способ производства макаронных изделий из нетрадиционного сырья / С. Я. Корячкина, Г. А. Осипова // Известия вузов. Пищевая технология. – 2006. – Т. 295, № 6. – С. 33–35.

13. Influence of High-Temperature Drying on Structural and Textural Properties of Durum Wheat Pasta / C. Zweifel, S. Handschin, F. Escher [et al.] // *Cereal Chemistry*. – 2003. – Vol. 80, № 2. – P. 159–167.

14. Effect of milling, pasta making and cooking on minerals in durum wheat / F. Cubadda, F. Aureli, A. Raggi [et al.] // *Journal of Cereal Science*. – 2009. – Vol. 49, № 1. – P. 92–97.

15. Effect of β -Glucan on Technological, Sensory, and Structural Properties of Durum Wheat Pasta / N. Aravind, M. Sissons, N. Egan [et al.] // *Cereal Chemistry*. – 2012. – Vol. 89, № 2. – P. 84–93.

16. Drying of Durum Wheat Pasta and Enriched Pasta: A Review of Modeling Approaches / S. Mercier, M. Mondor, C. Moresoli [et al.] // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. – 2016. – Vol. 56, № 7. – P. 1146–1168.

17. Changes in pasta proteins induced by drying cycles and their relationship to cooking behaviour / C. Lamacchia, A. Di Luccia, A. Baiano [et al.] // *Journal of Cereal Science*. – 2007. – Vol. 46, № 1. – P. 58–63.

18. Jukić, M. Colour changes of pasta produced with different supplements during drying and cooking / M. Jukić, Ž. Ugarčić-Hardi, D. Koceva Komlenić // *Deutsche Lebensmittel-Rundschau*. – 2007. – Vol. 103, № 4. – P. 159–163.
19. Synergistic effect of different dietary fibres in pasta on in vitro starch digestion? / M. Foschia, D. Peressini, A. Sensidoni [et al.] // *Food Chemistry*. – 2015. – Vol. 172. – P. 245–250.
20. Tudorică, C. M. Nutritional and Physicochemical Characteristics of Dietary Fiber Enriched Pasta / C. M. Tudorică, V. Kuri, C. S. Brennan // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2002. – Vol. 50, № 2. – P. 347–356.
21. Microstructure and cooking quality of barley-enriched pasta produced at different process parameters / I. Kosović, M. Benšić, Đ. Ačkar [et al.] // *Foods and Raw Materials*. – 2018. – Vol. 6, № 2. – P. 281–290.
22. Polymeric protein formation during pasta-making with barley and semolina mixtures, and prediction of its effect on cooking behaviour and acceptability / C. Lamacchia, A. Baiano, S. Lamparelli [et al.] // *Food Chemistry*. – 2011. – Vol. 129, № 2. – P. 319–328.
23. Quality characteristics and in vitro digestibility study of barley flour enriched ditalini pasta / A. Montalbano, L. Tesoriere, P. Diana [et al.] // *LWT – Food Science and Technology*. – 2016. – Vol. 72. – P. 223–228.
24. Cooking quality and starch digestibility of gluten free pasta using new bean flour / G. Giuberti, A. Gallo, C. Cerioli [et al.] // *Food Chemistry*. – 2015. – Vol. 175. – P. 43–49.
25. Improvement of the texture and quality of cooked gluten-free pasta / V. Larrosa, G. Lorenzo, N. Zaritzky [et al.] // *LWT – Food Science and Technology*. – 2016. – Vol. 70. – P. 96–103.
26. Смирнова, С. О. Использование нетрадиционного сырья в производстве макаронных изделий повышенной пищевой ценности / С. О. Смирнова, О. Ф. Фазиуллина // *Техника и технология пищевых производств*. – 2019. – Т. 49, № 3. – С. 454–469.

27. Milde Laura, B. Nutritional characterization of gluten free non-traditional pasta / B. Milde Laura, S. Chigal Paola, O. Chiola Zayas María // *International Journal of Food Science and Nutrition*. – 2018. – Vol. 3, № 5. – P. 19–24.
28. Исследование показателей качества обогащенных макаронных изделий / И. А. Долматова, Т. Н. Зайцева, Г. Д. Иванова [и др.] // *Молодой ученый*. – 2015. – Т. 86, № 6. – С. 148–152.
29. Аптрахимов, Д. Р. Сравнительная характеристика растительных компонентов разработанных макаронных изделий / Д. Р. Аптрахимов, Ф. Х. Смольникова, М. Б. Ребезов // *Молодой ученый*. – 2016. – Т. 125, № 21. – С. 111–114.
30. Влияние порошка пастернака на качественные показатели лапши и макаронных изделий / Ю. В. Радионов, С. И. Данилин, М. А. Митрохин [и др.] // *Технология пищевой и перерабатывающей промышленности АПК-продукты здорового питания*. – 2017. – Т. 15, № 1. – С. 56–61.
31. Оптимизация параметров замеса макаронного теста из композитной муки / Н. С. Шелубкова, М. К. Садыгова, Т. В. Кириллова [и др.] // *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*. – 2018. – Т. 140, № 5. – С. 232–239.
32. Martini, D., Brusamolino, A., Del Bo', C., Laureati, M., Porrini, M., Riso, P. Effect of Fiber and Protein-Enriched Pasta Formulations on Satiety-Related Sensations and Afternoon Snacking in Italian Healthy Female Subjects. *Physiol. Behav.* 2018, 185, 61–69.
33. Brochard, M. Placement Report-Development of Innovative Pasta Formulations; Polytechnic Institute of Viseu: Viseu, Portugal, 2019.
34. Peña, E., Manthey, F.A., Patel, B.K., Campanella, O.H. Rheological Properties of Pasta Dough during Pasta Extrusion: Effect of Moisture and Dough Formulation. *J. Cereal Sci.* 2014, 60, 346–351.
35. Ciccoritti, R., Taddei, F., Nicoletti, I., Gazza, L., Corradini, D., D'Egidio, M.G., Martini, D. Use of Bran Fractions and Debranned Kernels for the

Development of Pasta with High Nutritional and Healthy Potential. *Food Chem.* 2017, 225, 77–86.

36. Ungureanu-Iuga, M., Dimian, M., Mironeasa, S. Development and Quality Evaluation of Gluten-Free Pasta with Grape Peels and Whey Powders. *LWT* 2020, 130, 109714.

37. Sharma, R., Dar, B.N., Sharma, S., Singh, B. In Vitro Digestibility, Cooking Quality, Bio-Functional Composition, and Sensory Properties of Pasta Incorporated with Potato and Pigeonpea Flour. *Int. J. Gastron. Food Sci.* 2021, 23, 100300.

38. Kowalczewski, P.L., Pauter, P., Smarzyński, K., Róźańska, M.B.; Jezowski, P., Dwiecki, K., Mildner-Szkudlarz, S. Thermal Processing of Pasta Enriched with Black Locust Flowers Affect Quality, Phenolics, and Antioxidant Activity. *J. Food Process. Preserv.* 2019, 43, e14106.

39. Bustos, M.C., Vignola, M.B., Paesani, C., León, A.E. Berry Fruits-Enriched Pasta: Effect of Processing and in Vitro Digestion on Phenolics and Its Antioxidant Activity, Bioaccessibility and Potential Bioavailability. *Int. J. Food Sci. Technol.* 2020, 55, 2104–2112.

40. Armellini, R., Peinado, I., Pittia, P., Scampicchio, M., Heredia, A., Andres, A. Effect of Saffron (*Crocus sativus L.*) Enrichment on Antioxidant and Sensorial Properties of Wheat Flour Pasta. *Food Chem.* 2018, 254, 55–63.

41. Wood, J.A. Texture, Processing and Organoleptic Properties of Chickpea-Fortified Spaghetti with Insights to the Underlying Mechanisms of Traditional Durum Pasta Quality. *J. Cereal Sci.* 2009, 49, 128–133.

42. 18. Sęczyk, Ł., Swieca, M., Gawlik-Dziki, U. Effect of Carob (*Ceratonia siliqua L.*) Flour on the Antioxidant Potential, Nutritional Quality, and Sensory Characteristics of Fortified Durum Wheat Pasta. *Food Chem.* 2016, 194, 637–642.

43. Spinelli, S., Padalino, L., Costa, C., Del Nobile, M.A., Conte, A. Food By-Products to Fortified Pasta: A New Approach for Optimization. *J. Clean. Prod.* 2019, 215, 985–991.

44. Romero, H.M., Zhang, Y. Physicochemical Properties and Rheological Behavior of Flours and Starches from Four Bean Varieties for Gluten-Free Pasta Formulation. *J. Agric. Food Res.* 2019, 1, 100001.
45. El-Sohaimy, S.A., Brennan, M., Darwish, A.M.G., Brennan, C. Physicochemical, Texture and Sensorial Evaluation of Pasta Enriched with Chickpea Flour and Protein Isolate. *Ann. Agric. Sci.* 2020, 65, 28–34.
46. Torres A, Frias J and Granito M, Germinated *Cajanus cajan* seeds as ingredients in pasta products: Chemical, biological and sensory evaluation. *Food Chem* 101:202–211 (2007).
47. Goldberg I, *Functional Foods. Designer Foods, Pharmafood, Nutraceuticals.* Chapman and Hall, London, p. 3 (1996).
48. Netten CV, Cann S, Morley D and Netten J, Elemental and radioactive analysis of commercially available seaweed. *Sci Total Environ* 255:169–175 (2000).
49. Ortega-Calvo J, Mazuelos C, Hermosín B and Saiz-Jimenez C, Chemical composition of *Spirulina* and eukaryotic algae food products marketed in Spain. *J Appl Phycol* 5:425–435 (1993).
50. Arad S and Yaron A, Natural pigments from red microalgae for use in foods and cosmetics. *Trends Food Sci Technol* 3:92–97 (1992).
51. Chang HC and Wu LC, Texture and quality properties of Chinese fresh egg noodles formulated with green seaweed (*Monostromanidium*) powder. *J Food Sci* 73:398–404 (2008).
52. Prabhasankar P, Ganesan P, Bhaskar N, Hirose A, Nimishmol S, Lalitha RG, et al, Edible Japanese seaweed, wakame (*Undaria pinnatifida*) as an ingredient in pasta: Chemical, functional and structural evaluation. *Food Chem* 115:501–508 (2009).
53. Jensen GS, Ginsberg DI and Drapeau MS, Blue–green algae as an immunoenhancer and biomodulator. *J Am Nutraceutical Assoc* 3:24–30 (2001).
54. Borowitzka MA, Commercial production of microalgae: ponds, tanks, tubes and fermenters. *J Biotechnol* 70:313–321 (1999).

55. Becker W, Microalgae in human and animal nutrition, in Handbook of Microalgal Culture, ed. by Richmond A. Blackwell, Oxford, pp. 312–351 (2004).
56. Yamaguchi K, Recent advances in microalgae bioscience in Japan, with special reference to utilization of biomass and metabolites: a review. *J Appl Phycol* 8:487–502 (1997).
57. Gouveia L, Veloso V, Reis A, Fernandes HL, Empis J and Novais JM, Evolution of pigment composition in *Chlorella vulgaris*. *Bioresour Technol* 57:157–163 (1996).
58. Shimamatsu H, Mass production of *Spirulina*, an edible microalga. *Hydrobiology* 512:39–44 (2004).
59. Spolaore P, Cassan C, Duran E and Isambert A, Commercial applications of microalgae. *J Biosci Bioeng* 101:87–96 (2006).
60. Reinehr C.O. and Costa J.A., Repeated batch cultivation of the microalga *Spirulina platensis*. *World J Microbiol Biotechnol* 22:937–943 (2006).
61. Raymundo A, Gouveia L, Batista AP, Empis J and Sousa I, Fat mimetic capacity of *Chlorella vulgaris* biomass in oil-in-water food emulsions stabilised by pea protein. *Food Res Int* 38:961–965 (2005).
62. Batista AP, Raymundo A, Sousa I and Empis J, Rheological characterization of coloured oil in water food emulsions with lutein and phycocyanin added to the oil and aqueous phases. *Food Hydrocolloids* 20:44–52 (2006).
63. Gouveia L, Batista AP, Raymundo A, Sousa I and Empis J, *Chlorella vulgaris* and *Haematococcus pluvialis* biomass as colouring and antioxidant in food emulsions. *Eur Food Res Technol* 222:362–367 (2006).
64. Batista AP, Gouveia L, Nunes MC, Franco JM and Raymundo A, Microalgae biomass as a novel functional ingredient in mixed gel systems, in *Gums and Stabilisers for the Food Industry*, ed. by Williams PA and Phillips GO, RSC Publishing, Cambridge, pp. 487–494 (2008).
65. Gouveia L, Batista AP, Raymundo A and Bandarra NM, *Spirulina maxima* and *Diatronema vlkianum* microalgae in vegetable gelled desserts. *Nutr Food Sci* 28:492–501 (2008).

66. Gouveia L, Batista AP, Miranda A, Empis J and Raymundo A, *Chlorella vulgaris* biomass used as colouring source in traditional butter cookies. *Innov Food Sci Emerg Technol* 8:433–436 (2007).
67. Gouveia L, Coutinho C, Mendonça E, Batista AP, Sousa I, Bandarra NM, et al, Sweet biscuits with *Isochrysis galbana* microalga biomass as a functional ingredient. *J Sci Food Agric* 88:891–896 (2008).
68. Falquet, J. 1997. The nutritional aspects of spirulina, antenna technologies. http://antenna.ch/en/documents/AspectNut_UK.pdf (Дата звернення 4 03, 2023).
69. Delcour JA, Vansteelandt M, Hythier C, Ab'ecassis J, Sindic M and Deroanne C, Fractionation and reconstitution provide insight into the role of gluten and starch interactions in pasta quality. *J Agric Food Chem* 48:3767–3773 (2000).
70. Edwards NM, Izydorczyk, MS, Dexter JE and Biliaderis CG, Cooked pasta texture: comparison of dynamic viscoelastic properties to instrumental assessment of firmness. *Cereal Chem* 70:122–126 (1993).
71. Tudorica CM, Kuri V and Brennan CS, Nutritional and physicochemical characteristics of dietary fiber enriched pasta. *J Agric Food Chem* 50:347–356 (2002).
72. Brennan CS, Kuri V and Tudorica CM, Inulin-enriched pasta: effects on textural properties and starch degradation. *J Food Chem* 86:189–193 (2004).
73. Bui LTT and Small DM, The contribution of Asian noodles to dietary thiamine intakes: A study of commercial dried products. *J Food Compos Anal* 20:575–583 (2007).
74. Fellows P, *Properties of Foods and Processing Theory*, in *Food Processing Technology – Principles and Practice*, ed. by Fellows PJ. Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, London (1997).
75. Guiné, R.P.F., Almeida, C.F.F., Correia, P.M.R., Mendes, M. Modelling the Influence of Origin, Packing and Storage on Water Activity, Colour and Texture of Almonds, Hazelnuts and Walnuts Using Artificial Neural Networks. *Food Bioprocess Technol.* 2015, 8, 1113–1125.

76. Guiné, R.P.F., Almeida, C.F.F., Correia, P.M.R. Influence of Packaging and Storage on Some Properties of Hazelnuts. *Food Meas.* 2014, 9, 11–19.
77. Petitot M, Boyer L, Minier C and Micard V, Fortification of pasta with split pea and faba bean flours: Pasta processing and quality evaluation. *F Res Int* 43:634–641 (2010).
78. Kokini KL, Lai LS and Chedid L, Effect of starch structure on starch rheological properties. *Food Technol* 6:124–139 (1992).
79. Batista AP, Bandarra NM, Raymundo A and Gouveia L, Microalgae biomass – a potential ingredient for the food industry. EFFoST/EHED Joint Conference, Lisboa, Portugal (2007).
80. Zhoua Z, Robards K, Helliwell S and Blanchard C, Effect of storage temperature on cooking behaviour of rice. *J Food Chem* 105:491–497 (2007).
81. Tomaselli L, The microalgal cell, in *Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology*, ed. by Richmond A. Blackwell Publishing, Oxford, pp. 3–19 (2004).
82. Zhao FJ, Hawkesford MJ and McGrath SP, Sulphur assimilation and effects on yield and quality of wheat. *J Cereal Sci* 30:1–17 (1999).
83. Bahnassey Y and Khan K, Fortification of spaghetti with edible legumes. II. Rheological, processing and quality studies. *Cereal Chem* 63:216–219.
84. Edwards NM, Biliaderis CG and Dexter JE, Texture characteristics of whole-wheat pasta and pasta containing non-starch polysaccharides. *J Food Sci* 60:1321–1324 (2006).
85. Brennan CS and Tudorica CM, Fresh pasta quality as affected by enrichment of non starch polysaccharides. *J Food Sci* 72:S659–S665 (2007).
86. Khouryieh H, Herald T and Aramouni F, Quality and sensory properties of fresh egg noodles formulated with either total or partial replacement of egg substitutes. *J Food Sci* 71:S433–S437 (2006).
87. Oh NH, Seib PA, Deyoe CW and Ward AB, Noodles IV – Influence of flour protein, extraction rate, particle size, and starch damage on the quality characteristics of dry noodles. *Cereal Chem* 62:441–446 (1985).

88. Agnesi E, The History of Pasta, in *Pasta and Noodle Technology*, ed. By Krueger JE, Matsuo RB and Dick JW. American Association of Cereal Chemists, St Paul, MN, p. 1 (1996).
89. Marchylo BA and Dexter, JE. Pasta production, in *Cereals Processing Technology*, ed. by Owens G. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 109–130 (2001).
90. Del Nobile MA, Baiano A, Conte A and Mocci G, Influence of protein content on spaghetti cooking quality. *J Cereal Sci* 41:347–356 (2004).
91. Doxastakis G, Papageorgiou M, Mandalou D, Irakli M, Papalamprou E, D'A' gostina A, et al, Technological properties and non-enzymatic browning of white lupin protein enriched spaghetti. *Food Chem* 101:57–64 (2007).
92. Sozer N, Dalgic, AC and Kaya A, Thermal, textural and cooking properties of spaghetti enriched with resistant starch. *J Food Eng* 81:476–484 (2007).
93. Suman M, De Maria R and Catellani D, Chromatographic evaluation of chlorophyll derivatives in pasta-based food products: effects of pasteurization treatments and correlation with sensory profiles. *J Sci Food Agric* 88:471–478 (2008).