

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

Факультет хімічних та біофармацевтичних технологій
Кафедра біотехнології, шкіри та хутра

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему:
«Технологія отримання біомаси спіруліни»

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Спеціальність 162 Біотехнології та біоінженерія
Освітня програма Біотехнологія

Виконала: студентка групи ББТ-20
Коробовська Т.В.
Науковий керівник: к.б.н. Грецький І.О.
Рецензент: к.т.н., доц. Охмат О.А.

Київ 2024

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

Факультет	<u>хімічних та біофармацевтичних технологій</u>
Кафедра	<u>біотехнології, шкіри та хутра</u>
Рівень вищої освіти	<u>перший (бакалаврський)</u>
Спеціальність	<u>162 Біотехнології та біоінженерія</u>
Освітня програма	<u>Біотехнологія</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри БШХ

_____ Олена МОКРОУСОВА

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
Коробовській Тетяні Володимирівні

1. Тема кваліфікаційної роботи: **Технологія отримання біомаси спіруліни**

Науковий керівник роботи Грецький Ігор Олександрович, к.б.н.
затверджені наказом КНУТД від «01» березня 2024 року № 49-уч

2. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: завдання на кваліфікаційну роботу; наукова література щодо технології отримання біомаси спіруліни; технологічні схеми промислового отримання біомаси спіруліни; матеріали переддипломної практики

3. Зміст кваліфікаційної роботи: техніко-економічне обґрунтування, обґрунтування вибору технологічної схеми виробництва, характеристика біологічного агента, опис технологічної схеми, контроль якості, висновки, список використаних джерел, додаток.

4. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапу кваліфікаційної роботи	Орієнтовний терміни виконання	Примітка про виконання
1	Вступ		
2	Розділ 1 Техніко-економічне обґрунтування		
3	Розділ 2 Обґрунтування вибору технологічної схеми виробництва		
4	Розділ 3 Характеристика біологічного агента		
5	Розділ 4 Опис технологічної схеми		
6	Розділ 5 Контроль якості		
7	Висновки		
8	Оформлення кваліфікаційної роботи (чистовий варіант)		
9	Подача кваліфікаційної роботи науковому керівнику для відгуку		
10	Подача кваліфікаційної роботи для рецензування (за 14 днів дозахисту)		
11	Перевірка кваліфікаційної роботи на наявність ознак плагіату (за 10 днів до захисту)		
12	Подання кваліфікаційної роботи на підпис завідувачу кафедри (за 7 днів до захисту)		

З завданням ознайомлений:

Студент _____ Тетяна КОРОБОВСЬКА

Науковий керівник _____ Ігор ГРЕЦЬКИЙ

АНОТАЦІЯ

Коробовська Т.В. Технологія отримання біомаси спіруліни.

Дипломний бакалаврський проєкт за спеціальністю 162 Біотехнологія та інженерія. – Київський національний університет технологій та дизайну, Київ, 2024 рік.

Дипломна робота присвячена дослідженню технології отримання біомаси спіруліни *Arthrospira platensis*, яка стає все більш важливим компонентом для харчової промисловості та харчових добавок.

Основна мета роботи — дослідження та аналіз властивостей спіруліни, її виробництва, хімічного складу, а також розробка рекомендацій щодо оптимізації технологічних процесів для промислового виробництва біомаси спіруліни.

У ході роботи було запропоновано для отримання біомаси спіруліни використання закритих фотореакторів об'ємом 1200 літрів. Визначено оптимальні умови для культивування.

Охарактеризовано вибір штаму та описано поживне середовище, умови його приготування й стерилізації. Виконано розрахунки об'ємів ферментера й посівних апаратів. Наведено технологічну схему виробництва спіруліни з описом стадій та представлено методики контролю якості продукції.

Ключові слова: спіруліна, Arthrospira platensis, біосинтез, ферментер, фотореактор.

					КР.ПЗ.162.03			
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата				
Розробив		Коробовська Т			АНОТАЦІЯ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив		Грецький І.				Д	4	1
Н.Контр.					КНУТД, ББТ-20			
Затвердив								

ABSTRACT

Korobovska T.V. Technology of spirulina biomass production.

Diploma bachelor's project in the specialty 162 Biotechnology and engineering. - Kyiv National University of Technology and Design, Kyiv, 2024.

The thesis is devoted to the study of the technology for obtaining *Arthrospira platensis* spirulina biomass, which is becoming an increasingly important component for the food industry and food additives.

The main goal of the work is research and analysis of the properties of spirulina, its production, chemical composition, as well as the development of recommendations for the optimization of technological processes for the industrial production of spirulina biomass.

In the course of the work, it was proposed to use closed photoreactors with a volume of 1200 liters to obtain spirulina biomass. The optimal conditions for cultivation have been determined.

The selection of the strain is characterized and the nutrient medium, its preparation and sterilization conditions are described. Calculations of the volumes of the fermenter and seeders were made. The technological scheme of spirulina production is presented with a description of the stages, and methods of product quality control are presented.

Key words: spirulina, Arthrospira platensis, biosynthesis, fermenter, photoreactor.

					КР.ПЗ.162.03			
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата				
Розробив		Коробовська Т			ABSTRACT	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив		Грецький І.				Д	5	1
Н.Контр.					КНУТД, ББТ-20			
Затвердив								

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ.....	11
1.1. Характеристика цільового продукту.....	11
1.1 Фізико-хімічні властивості	12
1.1.1 Загальний хімічний склад	12
1.1.2 Білковий склад.....	12
1.1.3. Вітаміни та мінерали	14
1.1.4. Фікобіліпротеїни та інші біологічно активні речовини	16
1.3. Розрахунок потужності виробництва.	17
1.4 Розрахунок кількості виробничих циклів для отримання річної потреби в цільовому продукті та геометричний об'єм ферментера.....	18
РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ВИБОРУ ВИРОБНИЦТВА	20
2.1 Обґрунтування вибору біологічного агента.....	20
2.2 Обґрунтування способу проведення біосинтезу.....	24
2.2.1 Отримання спіруліни у відкритих басейнах	24
2.2.2 Отримання спіруліни у закритих фотореакторах	30
2.2.3 Вибір біореактора.....	35
2.2.4 Обґрунтування вибору стадії підготовки аераційного повітря.....	36
2.2.5. Вибір мийних та дезінфікуючих засобів	37
2.3 Розрахунок кількості стадій підготовки посівного матеріалу, підготовка поживного середовища та параметри стерилізації.....	40
РОЗДІЛ 3	45
ХАРАКТЕРИСТИКА БІОЛОГІЧНОГО АГЕНТА	45
3.1 Таксономічний статус.....	45

					КР.ПЗ.162.03			
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата	ЗМІСТ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив		Коробовська Т				Д	6	2
Перевірив		Грецький І.				КНУТД, ББТ-20		
Н.Контр.								
Затвердив								

	7
3.2 Морфолого-культуральні властивості	46
3.3 Фізіолого-біохімічні ознаки	48
РОЗДІЛ 4. ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ	57
ДР.1. Санітарна підготовка виробництва	57
ДР.2. Підготовка та стерилізація аераційного повітря.....	60
ДР.3. Підготовка титрувальних розчинів для поживного середовища	61
ДР 4. Приготування та стерилізація поживних середовищ.	61
ТП 5. Підготовка посівного матеріалу.....	62
ТП 6. Біосинтез	62
ТП 7. Зберігання культуральної рідини.....	62
ЗВ 8. Знешкодження відходів	62
РОЗДІЛ 5 КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ЦІЛЬОВОГО ПРОДУКТУ.....	63
5.1 Методики контролю на стадії біосинтезу.....	63
5.2 Методи контролю цільового продукту	65
ВИСНОВКИ.....	68
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	70

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		№ар

ВСТУП

Спіруліна (*Arthrospira platensis*) привертає все більшу увагу завдяки своїм унікальним харчовим та фармакологічним властивостям. Ця синьо-зелена водорість є багатим джерелом білків, вітамінів, мінералів та антиоксидантів. Зміст білка у спіруліні досягає 60-70%, що робить її важливим компонентом для харчової промисловості та харчових добавок [1].

Спіруліна має широкий спектр корисних властивостей, включаючи антиоксидантні, протизапальні, імуномодулюючі та антивірусні властивості. Її регулярне вживання допомагає знижувати рівень холестерину, регулювати артеріальний тиск, покращувати функції імунної системи, а також боротися з діабетом та серцево-судинними захворюваннями.

На початку XXI століття інтерес до спіруліни зріс завдяки її численним корисним властивостям та можливостям використання у різних галузях, таких як медицина, косметологія та екологія. Сучасні дослідження підтверджують, що спіруліна є потужним антиоксидантом, має протизапальні властивості та може використовуватися для профілактики і лікування багатьох захворювань, включаючи рак, діабет та серцево-судинні захворювання [2].

Сьогодні спіруліну культивують у спеціальних умовах як у відкритих, так і у закритих системах у різних країнах світу, таких як Китай, Індія, США, Мексика та інші. Це дозволяє отримувати високоякісну біомасу спіруліни, яка використовується як харчова добавка, компонент косметичних засобів та основа для фармацевтичних препаратів [3].

З екологічної точки зору, спіруліна є стійким продуктом, який може вирощуватися в умовах обмежених ресурсів, включаючи використання відходів для її культивації. Це робить її перспективним ресурсом для забезпечення харчової безпеки у майбутньому.

					КР.ПЗ.162.03			
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата				
Розробив		Коробовська Т			ВСТУП	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив		Грецький І.				Д		
Н.Контр.					КНУТД, ББТ-20			
Затвердив								

Актуальність теми дослідження спіруліни обумовлена кількома факторами:

1. **Потреба у здоровому харчуванні.** В умовах сучасного життя, зростаюча кількість людей шукає природні джерела харчових добавок для підтримки здоров'я. Спіруліна є одним з найбільш ефективних і доступних суперфудів, який може забезпечити організм необхідними поживними речовинами.
2. **Екологічні проблеми.** Масове вирощування спіруліни може допомогти вирішити проблему утилізації стічних вод, оскільки вона здатна рости як у прісній, так і в забрудненій воді, виконуючи функцію біофільтрації.
3. **Медичні дослідження.** Спіруліна вивчається як потенційний засіб для лікування і профілактики різних захворювань, таких як анемія, рак, діабет, серцево-судинні хвороби та вірусні інфекції. Дослідження показують, що спіруліна може стимулювати вироблення білих кров'яних тілець і антитіл, що борються з вірусами та бактеріями.
4. **Глобальні продовольчі проблеми.** Завдяки високому вмісту білка (до 70%), спіруліна може стати важливим джерелом харчування в регіонах з високим рівнем недоїдання, забезпечуючи доступ до необхідних білків і мікроелементів за мінімальних витрат на вирощування.

Враховуючи всі ці аспекти, дослідження властивостей і можливостей використання спіруліни є надзвичайно актуальним і має велике значення як для науки, так і для практичного застосування у різних галузях.

Метою даної дипломної роботи є дослідження та аналіз властивостей спіруліни (*Arthrospira platensis*), її виробництва, хімічного складу, а також розробка рекомендацій щодо оптимізації технологічних процесів для промислового виробництва біомаси спіруліни.

Завданнями роботи є:

1. Обґрунтування вибору продуценту, аналіз його переваг та опис

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
						№
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

морфолого-культуральних, фізіологічних властивостей;

2. Вибір та обґрунтування технологічної схеми отримання біомаси спіруліни;

3. Опис технологічної схеми, вибір поживного середовища, умов та параметрів культивування;

4. Опис методів контролю, що застосовуються при отриманні препарату.

Об'єкт дослідження – спіруліна *Spirulina platensis*.

Предмет дослідження – виробництва біомаси спіруліни.

Методи дослідження: аналітичні, теоретичні.

Новизна одержаних результатів – аналіз технології виробництва спіруліни (*Arthrospira platensis*), отриманої за допомогою біотехнологічних методів.

Практичне значення одержаних результатів – рекомендації щодо оптимізації технологічних процесів для промислового виробництва біомаси спіруліни. Результати дослідження можуть бути використані в харчовій промисловості для виробництва харчових добавок, збагачених білками, вітамінами та іншими корисними речовинами. У фармацевтичній галузі спіруліна може бути використана як основа для створення нових лікарських засобів та біологічно активних добавок, що мають лікувальні та профілактичні властивості.

Апробація отриманих результатів – участь в Міжнародній науковій конференції 6th International Scientific Conference «Progress in Science» (June 6-7, 2024). Brussels, Belgium, 2024

Tetiana Korobovska. Utilization of Biotechnological Methods for Enhancing Yield and Quality of Spirulina Production. *Progress in Science*, (6). Retrieved from <https://ojs.publisher.agency/index.php/PS/article/view/3853>. (див. Додаток А)

РОЗДІЛ 1. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

1.1. Характеристика цільового продукту

Спіруліна (*Arthrospira platensis*) є одноклітинною синьо-зеленою водорістю, що належить до класу ціанобактерій. Вона має спіральну ниткоподібну структуру, що складається з багатьох клітин, з'єднаних між собою. Кожна нитка (трихома) може бути завдовжки від декількох мікрометрів до кількох міліметрів і складається з циліндричних клітин, що утворюють спіральні завитки.

Спіруліна має характерний зелено-блакитний колір, що зумовлено наявністю фотосинтетичних пігментів, таких як хлорофіл а та фікоціанін. Спіральна форма спіруліни дозволяє їй легко плавати у воді та поглинати сонячне світло для фотосинтезу [7].

Клітини спіруліни є прокаріотичними, тобто не мають справжнього ядра. Їхня ДНК знаходиться у вигляді нуклеоїда, що розташований у цитоплазмі. Основні компоненти клітинної структури спіруліни включають:

- **Клітинна стінка:** Вона складається з пептидоглікану і забезпечує механічну міцність клітини. Клітинна стінка спіруліни є досить тонкою, що дозволяє легше проникати поживним речовинам.
- **Цитоплазма:** Містить рибосоми, необхідні для синтезу білка, та інші органели.
- **Хлоропласти:** Хоча у прокаріотів відсутні справжні хлоропласти, у спіруліни є спеціалізовані мембранні структури, де відбувається фотосинтез.
- **Газові вакуолі:** Ці структури допомагають клітинам плавати у воді та регулювати свою плавучість.

					КР.ПЗ.162.03			
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата				
Розробив		Коробовська Т			РОЗДІЛ 1	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив		Грецький І.				Д		
Н.Контр.						КНУТД, ББТ-20		
Затвердив								

Анатомія

Спіруліна має унікальну анатомію, яка включає кілька специфічних структур:

- **Фікобілісоми:** Спеціальні білкові комплекси, які містять фікобіліпротеїни (фікоціанін, алофікоціанін), що забезпечують ефективне поглинання світла для фотосинтезу.
- **Каротиноїди:** Пігменти, які беруть участь у захисті клітини від надмірного освітлення та оксидативного стресу.
- **Ціанопепси:** Комплекси білків, що забезпечують структурну підтримку клітини [8].

1.1 Фізико-хімічні властивості

1.1.1 Загальний хімічний склад

Спіруліна має в собі такі основні компоненти, такі як білки, ліпіди, вуглеводи, мінерали та вітаміни. У таблиці 1.1 показано хімічний склад та відсотковий вміст речовин спіруліни.

Таблиця 1.1

Відсотковий вміст речовин у спіруліні

Компонент	Відсоток (%)
Білки	60
Ліпіди	8
Вуглеводи	15
Мінерали	10
Вітаміни	7

1.1.2 Білковий склад

Спіруліна (*Arthrospira platensis*) відома своїм високим вмістом білка, що робить її важливим харчовим джерелом для людей та тварин. Білковий

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		№

склад спіруліни не тільки високий за кількістю, але й багатий на всі необхідні амінокислоти, що робить її повноцінним джерелом протеїнів.

Спіруліна містить від 55% до 70% білка на суху масу, що є одним із найвищих показників серед відомих харчових продуктів. Вміст білка може варіюватися в залежності від умов культивування, часу збору врожаю та інтенсивності освітлення під час росту [12].

Білок спіруліни легко засвоюється організмом завдяки відсутності клітковини у її клітинних стінках. Це означає, що амінокислоти спіруліни швидко та ефективно абсорбуються, забезпечуючи організм всіма необхідними поживними речовинами. Спіруліна має коефіцієнт засвоюваності білка на рівні 85-95%, що є вищим показником порівняно з іншими джерелами білка, такими як м'ясо [13].

Спіруліна є повноцінним джерелом білка, оскільки містить усі необхідні амінокислоти. У таблиці 1.2 наведено відсотковий вміст основних амінокислот у складі спіруліни: Окремо виділені позначкою (*) незамінні амінокислоти.

Таблиця 1.2

Відсотковий вміст основних амінокислот у складі спіруліни

Амінокислота	Відсоток від загальної кількості амінокислот (%)
Аланін	7.9
Аргінін	7.3
Аспарагінова кислота	10.1
Цистеїн	1.2
Глутамінова кислота	14.7
Гліцин	5.4
Гістидин*	1.9
Ізолейцин*	5.6

Лейцин*	8.7
Лізин*	5.3
Метіонін*	2.0
Фенілаланін*	4.9
Пролін	4.2
Серин	5.2
Треонін*	3.4
Триптофан*	1.6
Тирозин	4.5
Валін*	6.1

Вміст білка у спіруліні перевищує більшість традиційних джерел білка, таких як м'ясо, соя та яйця. Наприклад, білок спіруліни є легше засвоюваним, ніж білок м'яса, завдяки відсутності клітковини у її клітинних стінках. Це означає, що амінокислоти спіруліни швидше та ефективніше абсорбуються в організмі.

Білки спіруліни мають високу біологічну цінність завдяки збалансованому складу амінокислот. Висока концентрація амінокислот, таких як лейцин, ізолейцин та валін, робить спіруліну цінним продуктом для спортсменів та людей, що ведуть активний спосіб життя [14].

1.1.3. Вітаміни та мінерали

Спіруліна (*Arthrospira platensis*) є багатим джерелом вітамінів і мінералів, що робить її цінним компонентом у раціоні харчування. Високий вміст цих поживних речовин забезпечує численні корисні властивості для здоров'я людини, сприяє підвищенню імунітету, поліпшенню обміну речовин та загальному зміцненню організму.

Спіруліна містить широкий спектр вітамінів, які необхідні для підтримки здоров'я. Вітаміни, що входять до складу спіруліни, включають:

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
						№
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

- **Вітамін А** (0.57 мг/100 г): Важливий для зору, імунної системи та клітинного росту.
- **Вітамін В1 (Тіамін)** (2.38 мг/100 г): Сприяє обміну речовин та функціонуванню нервової системи.
- **Вітамін В2 (Рибофлавін)** (3.67 мг/100 г): Необхідний для енергетичного обміну та здоров'я шкіри.
- **Вітамін В3 (Ніацин)** (12.82 мг/100 г): Важливий для синтезу гормонів та росту.
- **Вітамін В6 (Піридоксин)** (0.65 мг/100 г): Регулює настрої та функціонування мозку.
- **Вітамін В12 (Кобаламін)** (0.0004 мг/100 г): Важливий для формування червоних кров'яних клітин та нервової системи.
- **Вітамін С** (10.1 мг/100 г): Потужний антиоксидант, що підтримує імунітет.
- **Вітамін D** (0.001 мг/100 г): Регулює обмін кальцієм та здоров'я кісток.
- **Вітамін Е** (5.0 мг/100 г): Захищає клітини від оксидативного стресу.
- **Вітамін К** (0.025 мг/100 г): Важливий для згортання крові та здоров'я кісток [15].

Спіруліна також багата на різноманітні мінерали, необхідні для підтримки багатьох фізіологічних функцій організму. Основні мінерали, що містяться у спіруліні, включають:

- **Кальцій** (120 мг/100 г): Важливий для здоров'я кісток і зубів.
- **Залізо** (28.5 мг/100 г): Сприяє утворенню червоних кров'яних клітин та переносу кисню.
- **Магній** (195 мг/100 г): Необхідний для м'язових і нервових функцій.
- **Фосфор** (118 мг/100 г): Сприяє утворенню енергії та здоров'ю кісток.

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
						№
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

- **Калій** (1363 мг/100 г): Регулює водно-електролітний баланс та артеріальний тиск.
- **Натрій** (1048 мг/100 г): Важливий для нервових імпульсів і м'язової активності.
- **Цинк** (2 мг/100 г): Підтримує імунну систему та загоєння ран.
- **Мідь** (6.1 мг/100 г): Важлива для утворення червоних кров'яних клітин та здоров'я нервів.
- **Марганець** (1.9 мг/100 г): Сприяє метаболізму та імунній функції.
- **Селен** (0.004 мг/100 г): Потужний антиоксидант, що захищає клітини від пошкоджень [16].

1.1.4. Фікобіліпротеїни та інші біологічно активні речовини

Спіруліна (*Arthrospira platensis*) є не тільки цінним джерелом білка, вітамінів та мінералів, але й містить численні біологічно активні речовини, серед яких фікобіліпротеїни займають особливе місце. Ці сполуки не тільки виконують важливі функції у фотосинтезі, але й мають широке застосування у фармацевтичній, косметичній та харчовій промисловості.

Фікобіліпротеїни є водорозчинними білками, які виконують роль світлозбиральних пігментів у ціанобактеріях та червоних водоростях. Спіруліна продукує два основні фікобіліпротеїни: С-фікоціанін (С-РС) і алофікоціанін (АРС), причому С-РС є основним пігментом, що становить до 20% сухої маси спіруліни. Структура та властивості С-фікоціаніну

С-фікоціанін (С-РС) є інтенсивно синім білком з сильною флуоресценцією. Він складається з α - (~18 кДа) та β -субодиниць (~19 кДа), які формують $\alpha\beta$ мономери, далі агрегуючись у тримери $(\alpha\beta)_3$ та гексамери $(\alpha\beta)_6$. С-РС є α -гелікальним білком, де колір та флуоресценція забезпечуються фікобіліном (РСВ), ковалентно зв'язаним з субодиницями білка. Цей білок чутливий до світла та тепла, що може впливати на його стабільність та використання у різних застосуваннях [17].

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
						№
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Окрім фікобіліпротеїнів, спіруліна містить інші важливі біологічно активні речовини, які мають численні корисні властивості:

- **Каротиноїди:** Спіруліна є багатим джерелом β -каротину, який є потужним антиоксидантом і попередником вітаміну А. Він допомагає захищати клітини від окислювального стресу та підтримує здоров'я очей.
- **Полісахариди:** Ці сполуки мають імуномодулюючі властивості, сприяючи підвищенню імунітету та захисту від інфекцій.
- **Фенольні сполуки:** Вони володіють антиоксидантними властивостями, що допомагають знижувати ризик розвитку хронічних захворювань, таких як рак та серцево-судинні захворювання.
- **Гамма-ліноленова кислота (GLA):** Ця поліненасичена жирна кислота має протизапальні властивості та сприяє підтримці здоров'я шкіри та серця [18].

1.3. Розрахунок потужності виробництва.

Спіруліна широко використовується в харчовій промисловості як харчова добавка та функціональний інгредієнт, а також як природний харчовий барвник. Завдяки своїм фармакологічним властивостям, спіруліна має великий потенціал для лікування та профілактики різних захворювань. В Україні виробництво спіруліни поширене і на даний момент, виробництво рибофлавіну в Україні здійснюється низкою підприємств, серед яких: багато фармкомпаній, зокрема Еліт-Фарм, NOW Foods, Golden Farm, Nu-Health Products Co, Solgar та інші.

За даними Міжнародної асоціації із захисту харчових продуктів, денна норма споживання спіруліни становить 5-10 г. Згідно рекомендацій МОЗ препарат призначають дорослим по 1 таблетці (500 мг спіруліни) 3 рази на день, за 30 хвилин до їди. Курс лікування і профілактики 2-3 тижні [6].

Враховуючи, що за найліпших обставин необхідність в цьому препараті буде лише раз на рік та оптимальний курс - 21 день. розраховуємо кількість спіруліни на рік:

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
						№
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

$$N_{\text{сп/рік}} = 21 * 2 = 42 \text{ г}$$

Для розрахунків візьмемо кількість населення Київської області станом на 2022 рік - 1 795 542 чол. (Київської області) та 2 952 301 чол. (Києва), тобто разом – 4 747 843 чол. [8].

Так як 90% населення України мають шлункові розлади, то можемо припустити, що потребу в спіруліні мають 45% населення, тоді їх кількість становить:

$$N_{\text{вж}} = 4\,747\,843 * 0,45 = 2\,136\,529,35 \text{ чол.}$$

Отже, річна потреба населення у таблетованому препараті становить:

$$П = 2\,136\,529,35 * 42 \text{ г} = 89\,734\,232 \text{ г} = 89\,734 \text{ кг} = 90 \text{ т}$$

Вважаючи що спіруліну в основному виробляють 10 фармацевтичних компаній, визначимо частину препарату, яку доцільно буде виробляти на рік:

$$90 \text{ т} / 10 = 9 \text{ т}$$

Отже, в подальших розрахунках орієнтуємось на виробництво 9 тон препарату на рік.

Для розрахунку потужностей біотехнологічного виробництва біомаси спіруліни необхідно врахувати кілька ключових параметрів, таких як об'єм ферментерів, продуктивність штамів мікроорганізмів, час ферментації, витрати на живильні середовища, а також обладнання для очищення та виділення біомаси спіруліни.

1.4 Розрахунок кількості виробничих циклів для отримання річної потреби в цільовому продукті та геометричний об'єм ферментера

Врахувуючи кількість культуральної рідини необхідної для забезпечення річної потреби розрахованої раніше, проводимо наступні розрахунки:

Прийmemo кількість робочих трудоднів 330, тоді 1 цикл займає переважно 7 днів, розрахуємо загальну кількість виробничих циклів на рік:

$$N_{\text{ц}} = 330 / 7 = 47,2 \text{ циклів}$$

але округляємо це число до 47 повних виробничих циклів на рік.

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
						№
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Дізнаємось кількість культуральної рідини за один цикл:

$$9 \text{ г} / 47 = 191,5 \text{ кг/цикл}$$

Спіруліну можна культивувати у відкритих ставках або в замкнутій системі з труб. Урожайність складає до 20 г сухої маси водорості з 1 м² в день.

Площа для виробництва у відкритих ставках складе:

$$191500 \text{ г} / 20 \text{ г з } 1 \text{ м}^2 = 9275 \text{ м}^2$$

Продуктивність закритих фотореакторів часто в 10 разів вище, ніж в басейнах, тому:

Геометричний об'єм ферментера для отримання препарату за один цикл 927,5 л

Культуральної рідини з коефіцієнтом заповнення 0,8 має становити:

$$V_{\text{Г}} = V_{\text{крц}} / K_{\text{зап}} = 927,5 \text{ л} / 0,8 \approx 1158,75 \text{ л} = 1,2 \text{ м}^3$$

Отже, нам потрібен ферментер на 1200 л, щоб ввести підприємство в експлуатацію.

Цей розрахунок допомагає зрозуміти можливі обсяги виробництва з використанням декількох ферментаторів меншого об'єму. Він дозволяє планувати ресурси, необхідні для досягнення бажаного рівня продуктивності, а також оцінити економічну ефективність виробництва в умовах використання ферментаторів об'ємом 1200 літрів.

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
						№
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ВИРОБНИЦТВА

2.1 Обґрунтування вибору біологічного агента

Спіруліна (*Arthrospira platensis*) є надзвичайно цінним продуктом харчування завдяки своєму унікальному складу, багатому на білки, вітаміни, мінерали та біологічно активні речовини. Її використання у харчовій промисловості набуває все більшої популярності завдяки численним корисним властивостям для здоров'я людини.

Спіруліна широко використовується як харчова добавка. Вона може додаватися до різних продуктів, таких як соки, смузі, енергетичні батончики, хлібобулочні вироби та навіть до морозива. Завдяки своєму високому вмісту білка (до 70% від сухої маси), спіруліна є важливим компонентом для підвищення харчової цінності продуктів.

Спіруліна використовується для створення функціональних продуктів, які допомагають покращувати здоров'я та запобігати різним захворюванням. Наприклад, спіруліна містить антиоксиданти, які допомагають захищати клітини від пошкоджень вільними радикалами, знижують рівень холестерину та підтримують здоров'я серцево-судинної системи .

Завдяки своїм природним пігментам, таким як фікоціанін, спіруліна використовується як природний харчовий барвник. Фікоціанін має яскраво-синій колір і може використовуватися для забарвлення напоїв, кондитерських виробів, молочних продуктів та інших харчових продуктів. Це робить спіруліну привабливою альтернативою синтетичним барвникам, які можуть мати негативні побічні ефекти.

					КР.ПЗ.162.03			
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата				
Розробив		Коробовська Т			РОЗДІЛ 2	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив		Грецький І.				Д		
Н.Контр.						КНУТД, ББТ-20		
Затвердив								

Спіруліна є популярною серед спортсменів завдяки високому вмісту білка та наявності всіх незамінних амінокислот. Вона сприяє швидкому відновленню м'язів після фізичних навантажень, підвищенню витривалості та загальної фізичної форми. Продукти на основі спіруліни можуть включати протеїнові порошки, енергетичні напої та батончики .

Спіруліна є безпечною та корисною для використання у дитячому харчуванні. Вона сприяє підвищенню імунітету, покращенню роботи шлунково-кишкового тракту та загальному зміцненню організму. Додавання спіруліни до дитячих продуктів, таких як каші, пюре та йогурти, може покращити їх харчову цінність та забезпечити дітей необхідними поживними речовинами [19].

Отже Спіруліна (*Arthrospira platensis*) є одноклітинною синьо-зеленою водорістю з високим вмістом білка (до 70% від сухої маси), вітамінів і мінералів, що робить її важливим компонентом у харчовій, фармацевтичній та інших галузях. Вона має спіральну ниткоподібну структуру, що складається з багатьох клітин з'єднаних між собою. Спіруліна багата на біологічно активні речовини, включаючи фікобіліпротеїни (С-фікоціанін і алофікоціанін), каротиноїди, полісахариди, фенольні сполуки та гамма-ліноленову кислоту. Ці компоненти надають спіруліні антиоксидантні, протизапальні, імуномодулюючі та антивірусні властивості.

Спіруліна широко використовується в харчовій промисловості як харчова добавка та функціональний інгредієнт, а також як природний харчовий барвник. Вона популярна серед спортсменів завдяки високому вмісту білка і всіх незамінних амінокислот. Її використання в дитячому харчуванні сприяє підвищенню імунітету та загальному зміцненню організму.

З екологічної точки зору, спіруліна є стійким продуктом, який може вирощуватися в умовах обмежених ресурсів і використовуватися для біоремедіації. Вона відіграє важливу роль в екосистемах, забезпечуючи їжею різні види водних організмів і беручи участь у циклі азоту.

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
						№
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Завдяки своїм фармакологічним властивостям, спіруліна має великий потенціал для лікування та профілактики різних захворювань, включаючи діабет, серцево-судинні хвороби, анемію, рак та вірусні інфекції. Вона допомагає знижувати рівень холестерину і глюкози в крові, захищає печінку та покращує функцію імунної системи.

Спіруліна (*Arthrospira platensis*) є однією з найцінніших мікроводоростей завдяки своєму унікальному складу, багатому на білки, вітаміни, мінерали та антиоксиданти. Готова продукція зі спіруліною використовується в харчовій промисловості для створення функціональних продуктів, які сприяють зміцненню здоров'я та профілактиці різних захворювань. Завдяки своїм властивостям спіруліна здобула популярність серед споживачів, що піклуються про своє здоров'я та шукають натуральні джерела поживних речовин.

Поживна цінність готової продукції

Білковий склад

Спіруліна містить від 55% до 70% білка на суху масу, що робить її одним з найкращих джерел рослинного білка. Вона містить всі незамінні амінокислоти, необхідні для здоров'я людини, включаючи лейцин, ізолейцин, валін, лізин, треонін, метіонін, фенілаланін і триптофан [28-29].

Вітаміни та мінерали

Спіруліна є багатим джерелом вітамінів, таких як вітамін А, вітаміни групи В (В1, В2, В3, В6, В9, В12), вітамін С, вітамін D і вітамін Е (табл. 2.1). Вона також містить велику кількість мінералів, таких як залізо, кальцій, магній, цинк, калій, селен і фосфор [30].

Антиоксидантні властивості

Спіруліна містить фікоціанін, який є потужним антиоксидантом, що захищає клітини від пошкоджень вільними радикалами. Вона також містить каротиноїди, такі як бета-каротин, які мають антиоксидантні властивості і сприяють зміцненню імунної системи [35].

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
						№
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Вітамінний склад спіруліни

Вітамін	Вміст (мг/100 г)
Вітамін А	0.57
Вітамін В1	2.38
Вітамін В2	3.67
Вітамін В3	12.82
Вітамін В6	0.65
Вітамін В12	0.0004
Вітамін С	10.1
Вітамін D	0.001
Вітамін Е	5.0
Вітамін К	0.025

Антиоксидантні властивості

Спіруліна містить фікоціанін, який є потужним антиоксидантом, що захищає клітини від пошкоджень вільними радикалами. Вона також містить каротиноїди, такі як бета-каротин, які мають антиоксидантні властивості і сприяють зміцненню імунної системи [35].

Застосування в продуктах харчування

Спіруліна широко використовується для збагачення різних харчових продуктів. Вона додається до пасти, хліба, напоїв, смузі, енергетичних батончиків та інших продуктів, підвищуючи їхню поживну цінність та додаючи корисні властивості.[35]

- **Паста:** Додавання спіруліни до пасти підвищує її вміст білка, фенолів, флавоноїдів, заліза та кальцію, не змінюючи текстуру та смакові властивості продукту[34]
- **Напої:** Спіруліна додається до напоїв, таких як смузі та соки, для підвищення їхньої поживної цінності та додання антиоксидантних властивостей.

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		№

- **Енергетичні батончики:** Використовуються для збагачення енергетичних батончиків білками та мікроелементами, що робить їх ідеальними для спортсменів та активних людей.[36]

Готова продукція зі спіруліною характеризується високим вмістом поживних речовин, антиоксидантними властивостями та широкими можливостями застосування в харчовій промисловості. Використання спіруліни в продуктах харчування сприяє підвищенню їхньої харчової цінності та позитивно впливає на здоров'я споживачів.

2.2 Обґрунтування способу проведення біосинтезу

2.2.1 Отримання спіруліни у відкритих басейнах

Вирощування спіруліни у відкритих басейнах є одним з найбільш поширених та економічно вигідних методів комерційного культивування, який дозволяє отримувати великі обсяги біомаси для харчової, фармацевтичної та косметичної промисловості.

Відкриті системи культивування, такі як raceway ponds (гончі ставки), є ефективними для виробництва спіруліни, оскільки вони використовують природні ресурси, такі як сонячне світло і атмосферний вуглекислий газ. Це дозволяє значно знизити витрати на виробництво та забезпечує екологічно чисте вирощування. Крім того, спіруліна здатна до швидкого зростання у лужному середовищі, що сприяє високій продуктивності [22].

Історія вирощування спіруліни

Перші згадки про використання спіруліни в їжу відносяться до стародавніх цивілізацій. Мешканці озера Чад в Африці та ацтеки в Мексиці використовували спіруліну як основне джерело білка. У сучасну епоху інтерес до спіруліни відновився у 1940-х роках, коли бельгійський ботанік Жан Леонард підтвердив її високу поживну цінність [23].

Сучасні методи культивування

Сучасні методи культивування спіруліни в основному базуються на використанні відкритих і закритих систем. Відкриті системи, такі як raceway

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
						№
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

ponds, є найбільш популярними завдяки їх простоті та економічній ефективності. Ці системи дозволяють вирощувати спіруліну у великих масштабах, використовуючи природні джерела світла та вуглекислого газу [21].

Основні переваги вирощування у відкритих басейнах

1. **Економічна ефективність:** Використання природних ресурсів, таких як сонячне світло, значно знижує витрати на виробництво.
2. **Масштабованість:** Відкриті басейни дозволяють легко збільшувати обсяги виробництва, що є важливим для комерційного культивування.
3. **Екологічність:** Відкриті системи використовують атмосферний вуглекислий газ, що сприяє зниженню викидів CO₂ та поліпшенню екологічної ситуації.
4. **Простота обслуговування:** Відкриті системи легко обслуговувати, що знижує витрати на технічне обслуговування та експлуатацію [1].

Недоліки та виклики

1. **Контамінація:** Відкриті системи схильні до забруднення іншими мікроорганізмами, які можуть конкурувати зі спіруліною або спричиняти хвороби.
2. **Залежність від кліматичних умов:** Зміни температури, інтенсивності освітлення та інших кліматичних факторів можуть впливати на продуктивність системи.
3. **Випаровування води:** Через випаровування у відкритих системах може втрачатися значна кількість води, що потребує регулярного поповнення [21, 24].

Опис технології

Основними типами відкритих систем для культивування спіруліни є відкриті водойми, включаючи ставки, озера, лагуни та спеціалізовані raceway ponds (кругові або прямокутні басейни з механічним перемішуванням). Ці

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		№

системи можуть мати різні розміри та конфігурації, але всі вони базуються на використанні природного освітлення та природних джерел вуглецю [22].



Рис.2.1 - Зображення відкритого басейну для культивування спіруліни (*Arthrospira platensis*)

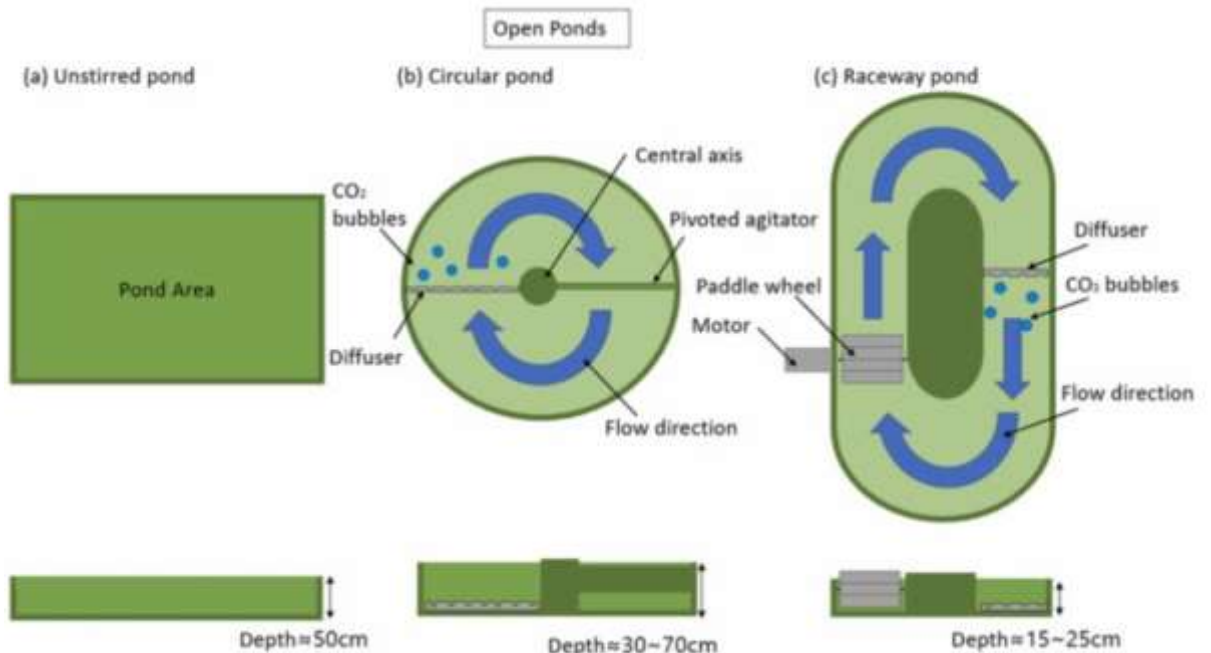


Рис. 2.2 - Види відкритих басейнів для культивування спіруліни (*Arthrospira platensis*) [27]

									Аркуш
									№
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата					

Етапи процесу отримання спіруліни у відкритих басейнах

1. Підготовка басейнів

Першим етапом є підготовка відкритих басейнів або ставків для культивування спіруліни. Зазвичай використовуються неглибокі кругові або прямокутні басейни, відомі як raceway ponds, які забезпечують ефективне перемішування води. Басейни очищують та дезінфікують перед заповненням водою [25].

2. Заповнення водою та додавання поживних речовин

Басейни заповнюють водою, після чого до неї додають спеціальні поживні розчини, які містять необхідні мікроелементи та макроелементи. Одним з найбільш поширених середовищ для вирощування спіруліни є модифіковане середовище Зарука, яке містить натрій, калій, магній, кальцій, фосфати, сульфати та інші важливі елементи [25].

3. Посів спіруліни

Після підготовки середовища в басейни вносять стартову культуру спіруліни. Концентрація стартової культури зазвичай становить 10-20% від загального об'єму води у басейні. Культуру рівномірно розподіляють по поверхні води [25].

4. Контроль умов культивування

Протягом усього періоду вирощування необхідно постійно контролювати основні параметри середовища: температуру, рН, інтенсивність світла та концентрацію поживних речовин (табл. 2.2).

- **Температура:** Оптимальна температура для росту спіруліни становить 30-37°C. Температура нижче 20°C або вище 40°C може негативно впливати на ріст та продуктивність спіруліни.

- **рН:** Спіруліна найкраще росте в лужному середовищі з рН 9-11. Для підтримки оптимального рівня рН використовують розчини карбонатів та бікарбонатів.

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
						№
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

- **Освітлення:** Природне сонячне світло є основним джерелом енергії для фотосинтезу. Інтенсивність світла повинна бути достатньо високою для забезпечення оптимального росту.
- **Поживні речовини:** Регулярно перевіряють концентрацію поживних речовин у воді та за необхідності додають додаткові добрива. Спіруліна потребує доступу до азоту, фосфору, калію та інших мікроелементів. Найчастіше використовуються спеціальні живильні розчини, такі як модифіковане середовище Зарука [25].

Таблиця 2.2

Основні параметри культивування спіруліни у відкритих басейнах

Параметр	Оптимальний діапазон
Температура (°C)	30-37
pH	9-11
Інтенсивність світла ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	200-300
Концентрація поживних речовин (г/л)	0.1-0.5

5. Перемішування води

Для забезпечення рівномірного розподілу поживних речовин та запобігання застою води використовуються механічні системи перемішування, такі як лопатеві колеса. Це допомагає підтримувати стабільні умови для росту спіруліни та запобігає утворенню "мертвих зон" у басейні [25].

6. Збирання біомаси

Коли концентрація біомаси досягає оптимального рівня (зазвичай через 5-10 днів після посіву), розпочинають збирання спіруліни. Для цього використовують спеціальні фільтри або центрифуги, які дозволяють відокремити спіруліну від води. Зібрану біомасу спіруліни промивають чистою водою для видалення залишків поживних речовин [25].

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		№

7. Сушіння та обробка

Після збору спіруліну сушать для зниження вмісту вологи. Найбільш поширеними методами сушіння є розпилювальне сушіння та сушіння на сонці. Після сушіння спіруліну подрібнюють та пакують для подальшого використання або переробки [25].

Raceway Ponds

Одним з найбільш ефективних способів вирощування спіруліни є використання *raceway ponds*, які являють собою неглибокі прямокутні басейни з системою циркуляції води. Вода переміщується за допомогою лопатевого колеса або іншого механічного пристрою, що забезпечує рівномірний розподіл поживних речовин та запобігає застою води. Це дозволяє підтримувати оптимальні умови для росту спіруліни [26].

Проблеми та рішення

Основні проблеми, з якими стикаються при вирощуванні спіруліни у відкритих басейнах, включають:

- **Контамінація:** Відкриті системи схильні до забруднення патогенними мікроорганізмами, такими як бактерії, гриби та водорості. Для запобігання контамінації використовуються різні методи стерилізації та контроль за якістю води.
- **Втрата води:** Через випаровування у відкритих системах може втрачатися значна кількість води. Регулярне поповнення води допомагає підтримувати стабільні умови культивування.
- **Кліматичні умови:** Зміни температури, інтенсивності світла та інших кліматичних факторів можуть впливати на ріст спіруліни. Використання захисних покриттів та контроль умов культивування допомагає зменшити негативний вплив клімату [22].

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
						№
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

2.2.2 Отримання спіруліни у закритих фотореакторах

Спіруліна (*Arthrospira platensis*) є однією з найбільш перспективних мікродоростей для комерційного культивування завдяки своїм багатим поживним властивостям, включаючи високий вміст білка, вітамінів, мінералів та антиоксидантів. Культивування спіруліни у закритих фотореакторах (photobioreactors, PBRs) стало популярним завдяки можливості забезпечення високого контролю умов вирощування, що дозволяє досягати стабільної продуктивності та високої якості біомаси.

Закриті фотореактори (рис. 2.3) забезпечують ідеальні умови для росту спіруліни завдяки контролю над факторами навколишнього середовища, такими як температура, освітлення, рН, концентрація поживних речовин та рівень аерації. Ці системи дозволяють уникнути проблем, характерних для відкритих систем, таких як контамінація небажаними мікроорганізмами та вплив несприятливих кліматичних умов.

Існує кілька типів закритих фотореакторів, кожен з яких має свої переваги та недоліки. Основними типами є трубчаті, панельні та колонні фотореактори. Вибір типу фотореактора залежить від конкретних умов вирощування, масштабів виробництва та доступних ресурсів. Кожен з цих типів забезпечує високий рівень контролю умов культивування, що дозволяє досягати максимальної продуктивності та якості спіруліни.

Закриті фотореактори також дозволяють ефективніше використовувати вуглекислий газ, що сприяє збільшенню продуктивності спіруліни. Використання CO₂ з промислових джерел, таких як відпрацьовані гази від теплових електростанцій, є ефективним способом зменшення викидів парникових газів та сприяє розвитку сталого виробництва.

Закриті фотореактори (рис. 2.4) мають великий потенціал для вирощування спіруліни у комерційних масштабах, забезпечуючи стабільні врожаї високоякісної біомаси, яка може використовуватися у харчовій, фармацевтичній та косметичній промисловості. Завдяки своїм численним

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
						№
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

перевагам, закриті фотореактори стають все більш популярними серед виробників спіруліни по всьому світу [24].

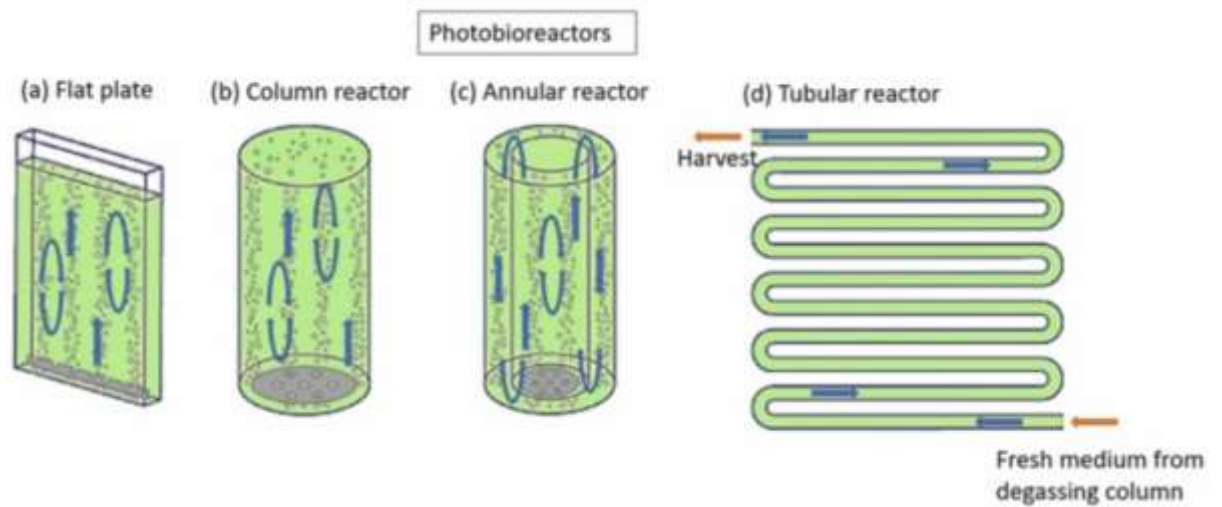


Рис.2.3 - Види закритих фотореакторів для культивування спіруліни (*Arthrospira platensis*) [27]

Основні відмінності типів закритих фотореакторів:

1. **Трубочаті фотореактори** (рис. 2.5)

- Складаються з системи прозорих труб, через які проходить культуральний розчин.
- Забезпечують високу площу освітлення та рівномірне розподілення світла.
- Мають низький ризик контамінації.

2. **Панельні фотореактори** (рис. 2.6)

- Використовують плоскі прозорі панелі для утримання культурального розчину.
- Легко масштабуються для великомасштабного виробництва.
- Забезпечують хорошу аерацію та перемішування.

3. **Колонні фотореактори**

- Складаються з вертикальних колон, які забезпечують високу площу освітлення на одиницю об'єму.
- Використовуються для інтенсивного вирощування на обмежених площах.

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		№

- Мають високу ефективність використання вуглекислого газу.[24]

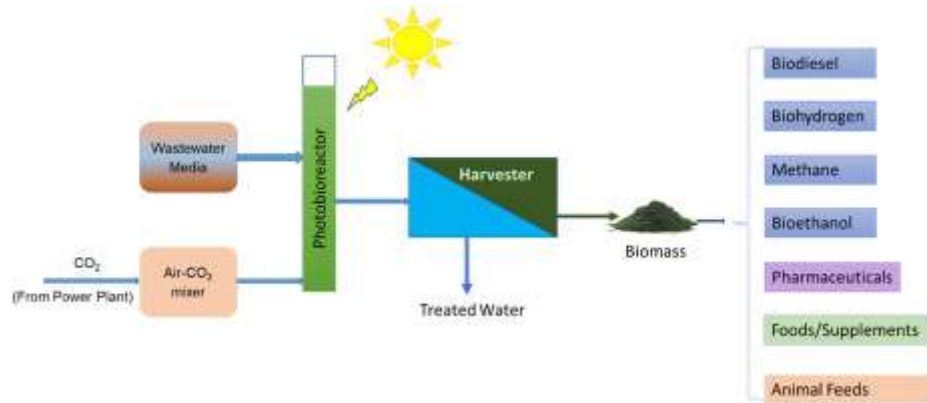


Рис. 2.4 - Процес вирощування мікробіореакторів у фотобіореакторах [27]

Етапи процесу отримання спіруліни у закритих фотореакторах

1. Підготовка фотореактора

Першим етапом є підготовка фотореактора, яка включає його дезінфекцію та заповнення культуральним середовищем. Середовище має містити всі необхідні поживні речовини для оптимального росту спіруліни [24].

2. Посів спіруліни

До фотореактора додають стартову культуру спіруліни у концентрації 10-20% від загального об'єму культурального середовища. Культуру рівномірно розподіляють по всьому об'єму фотореактора [4].

3. Контроль умов культивування

Протягом всього періоду вирощування необхідно постійно контролювати основні параметри середовища:

- **Температура:** Оптимальна температура для росту спіруліни становить 30-37°C.
- **pH:** Спіруліна найкраще росте в лужному середовищі з pH 9-11.
- **Освітлення:** Використовуються природне або штучне освітлення для забезпечення високої інтенсивності світла.
- **Концентрація поживних речовин:** Регулярно перевіряється та коригується за необхідності [24].

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
						№
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

4. Аерація та перемішування

Фотореактори обладнані системами аерації, які забезпечують постійне постачання вуглекислого газу та кисню. Перемішування здійснюється механічними або повітряними насосами для рівномірного розподілу поживних речовин [24].

5. Збирання біомаси

Після досягнення оптимальної концентрації біомаси (зазвичай через 5-10 днів) розпочинається збирання спіруліни. Використовуються центрифуги або фільтри для відокремлення біомаси від культурального середовища.

6. Сушіння та обробка

Зібрану біомасу спіруліни сушать для зниження вмісту вологи. Поширеними методами сушіння є розпилювальне сушіння або сушіння на сонці. Після сушіння спіруліну подрібнюють та пакують для подальшого використання.



Рис.2.5 - Трубчастий фотореактор

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		№



Рис. 2.6 - Панельний фотореактор

Порівняльна характеристика про амінокислотний склад спіруліни, вирощеної у фотореакторах та відкритих басейнах, дозволяє побачити різницю в умовах вирощування

Таблиця 2.3

Порівняльна характеристика про амінокислотний склад спіруліни

Амінокислоти	Фотореактор	Відкритий басейн
Аспарагінова кислота	11.2	11.4
Треонін	5.1	4.5
Серин	4.3	3.7
Глутамінова кислота	17.4	16.9
Пролін	4.4	4.4
Гліцин	5.6	5.6
Аланін	7.2	7.4
Цистеїн	0.3	0.3
Валін	7.9	8.1
Метіонін	2.2	2.4
Ізолейцин	6.9	7.1

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		№

Лейцин	10.5	10.6
Тирозин	4.7	4.8
Фенілаланін	5.1	5.4
Лізин	5.8	5.9
Гістидин	2.1	2.1
Аммоній	1.1	1.1
Аргінін	8.3	8.3
α - ϵ -Діамінопімелінова кислота	1.0	1.0
Вміст білка (%)	53.6	51.0

Ця таблиця наочно демонструє, що закриті фотореактори дозволяють досягти вищої якості біомаси спіруліни, порівняно з відкритими басейнами, що є важливим аргументом для використання більш контрольованих систем вирощування. [24].

2.2.3 Вибір біореактора

Отримання спіруліни у відкритих басейнах в теплицях включає декілька етапів виробництва біомаси і її накопичення: підготовча стадія, запуск виробництва, збір врожаю, підживлення, промивання біомаси, сушка і зберігання біомаси. Цей метод є економічно вигідним через низькі фінансові витрати, але не дуже ефективним через невеликий вихід продукту.

Натомість, культивування спіруліни у закритих фотореакторах, хоча і збільшує вихід біомаси в декілька разів, є економічно невигідним через високі витрати на установку для отримання продукту.

Отже, обидва методи мають свої переваги і недоліки з точки зору виробництва спіруліни, і вибір методу може залежати від конкретних умов і фінансових можливостей підприємства.

За результатами аналізу технології вирощування *Arthrospira platensis* запропоновано використання закритих фотобіореакторів, які забезпечують

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
						№
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

можливість цілорічного, поліциклічного отримання біомаси спіруліни як харчового, так і фармакологічного використання.

Параметри ферментатора

1) Об'єм ферментера

Робочий об'єм ферментера становить 1200 літрів, що забезпечує достатню продуктивність для промислових цілей.

2) Система аерації

Високоєфективна система аерації забезпечує рівномірний розподіл кисню в культуральній рідині.

3) Система перемішування

Механічна система перемішування з використанням мішалок різного типу (прямі, лопатеві, пропелерні) дозволяє забезпечити ефективне перемішування поживних речовин.

4) Контроль температури та рН

Вбудована система контролю температури дозволяє точно підтримувати необхідні умови ($\pm 0.1^{\circ}\text{C}$).

Автоматичний контроль рН забезпечує підтримання оптимального рівня кислотності середовища для росту мікроорганізмів.

Використання цього біореактора дозволяє забезпечити стабільний та ефективний виробничий процес, що сприяє досягненню високих виходів біомаси спіруліни при мінімальних витратах.

2.2.4 Обґрунтування вибору стадії підготовки аераційного повітря

Спіруліна є аеробом, тож потребує поданого розчиненого у поживному середовищі повітря. Основною вимогою до нього є його стерильність. Перед подачею безпосередньо у ферментер через барботер повітря має пройти етапи підготовки з очистки, щоб виключити ймовірність контамінації сторонніми мікроорганізмами й потрапляння забруднюючих часточок у апарат і його частини.

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
						№
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Перед очисткою атмосферне повітря збирається через спеціальні шахти, розташованих на висоті не менше 8 -10 м у найменш забруднених ділянках підприємства [19].

Повітря на аерацію в посівні та виробничі ферментери подається за допомогою компресора й очищується за допомогою спеціальних фільтрів, наповнених волокнистими матеріалами.

Для більш досконалої стерилізації повітря використовують фільтри для біологічного очищення, а саме грубої очистки (або головні фільтри) та індивідуальні фільтри (високоєфективні).

Головні фільтри забезпечують очищення від часток розміром 1- 1,5 мкм (бактерій). Ефективність очистки – до 98%. Такі фільтри також називають глибинними (набивними). Їх встановлюють в цеху ферментації на головному повітряному колекторі стиснутого аераційного повітря [19].

2.2.5. Вибір мийних та дезінфікуючих засобів

Використання мийно-дезінфікуючих засобів дозволяє підтримувати виробничі приміщення, інвентар, поверхні обладнання й оснащення тощо у належному санітарному стані. Сприяє дотриманню особистої гігієни персоналом, попередженню поширення збудників захворювань.

Миючі й дезінфікуючі засоби для своєї ефективності мають володіти певними вимогами. Розчинність їх у воді повинна становити не менше 10 % при температурі 50 °С і розведенні не більше, як 1:20 протягом 15–20 хв. [18]

Мийна здатність засобів повинна бути оціненою не менше, як „добре”. Поверхневий натяг для мийно-дезінфікуючих засобів, що містять поверхнево-активні сполуки, має бути не більше 60 мН/м, піноутворення не більшим ніж 50 % об'єму розчину, стійкість піни не більше, як 0,3 одиниці. Корозія металевих деталей, викликана дією розчинів засобів, допускається не більшою за 2,0 г/м² -рік. [18].

Також до мийно-дезінфікуючих засобів висувається такий ряд вимог, як:

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
						№
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

- Добра розчинність у воді
- Легке змивання при споліскуванні;
- Відсутність різкого неприємного запаху, безбарвність;
- Відсутність агресивної дії щодо матеріалів;
- Слабка корозійна активність;
- Стійкість при зберіганні;
- Зберігати активність протягом тривалого часу;
- Пожежо- і вибухобезпечність
- Безпека для довкілля та повний розпад на нешкідливі сполуки;
- Широкий спектр протимікробної активності;
- Бактерицидна дія щодо патогенних та умовно-патогенних мікроорганізмів;
- Відсутність подразнюючої дії на шкіру рук;
- За токсикологічною характеристикою бути нетоксичними або Малотоксичними.

Миючі засоби

При виборі миючих засобів варто звертати увагу на наступне:

- Миюча здатність;
- Універсальність використання;
- Ціна;
- Оформлення упакування;
- Обсяг розфасування;
- Екологічні властивості;
- Діапазон температурного використання [8].

Підбір концентрації миючих засобів

Для дотримання санітарії застосовуються засоби, схвалені до використання уповноваженими органами під державним наглядом; та перевірки в межах своєї юрисдикції.

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
						№
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Лужні та кислотні мийні засоби та їх концентрації повинні бути підбрані та використані відповідно до ступеня забруднення об'єктів, що підлягають обробці. Для приготування водних розчинів і для ополіскування використовують водопровідну воду, відповідну до вимог ДСТУ 7525:2014 "Вода питна" [12].

Дезинфікуючі засоби

На підприємствах мікробного синтезу, де здійснюються біотехнологічні процеси й працює велика кількість персоналу, заходи дезінфекції є дуже важливими. Їх проведення дозволяє запобігти чи ліквідувати процес накопичення, розмноження і поширення збудників інфекційних захворювань, таких як патогенних бактерій, вірусів, рикетсій, токсинів, найпростіших, грибів на об'єктах навколишнього середовища.

Дезінфекція широко застосовується в комплексі профілактичних і протиепідемічних заходів. Є важливою не лише по відношенню до здоров'я працівників установи, а й для сприяння повної асептичності технологічних процесів. Заходи дезінфекції здійснюються за допомогою дезінфікуючих засобів – хімічних речовин, біологічних чинників та засобів медичного призначення.

Обґрунтування вибору методу дезінфекції

Існує декілька методів дезінфекції, серед яких виділяють механічний, фізичний, біологічний, хімічний та комбінований [11].

Механічний метод є доступним, включає провітрювання приміщень, вологе протирання поверхонь, прання тощо. Недоліком його є недостатнє знезараження об'єктів.

Фізичний метод широко застосовується для знезараження приміщень, апаратів, обладнання, інструментів. Є високоефективним, проте зазвичай не є універсальним, для його використання потрібна спеціальна апаратура, що може бути дороговартісною.

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
						№
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Біологічний метод дезінфекції має суто специфічне призначення, а саме очищення стічних вод, біотермічні камери, компостування. Тому також не підходить для застосування на даному мікробному виробництві.

Хімічний метод дезінфекції заснований на вживанні різноманітних хімічних речовин, що викликають загибель мікроорганізмів. Діють, в основному, поверхнево. Даний метод дедалі зручніший і простіший у використанні, оскільки не вимагає застосування складного, зокрема стаціонарного, обладнання. Тому є широковживаним у практиці [11].

Отже, найкращим й найбільш економним є саме хімічний метод дезінфекції. Серед груп дезінфікуючих засобів найбільш обґрунтованими для вибору з точки зору їх ефективності, безпечності й економічності є композиційні, що можуть містити у собі кілька різних активних компонентів [11].

2.3 Розрахунок кількості стадій підготовки посівного матеріалу, підготовка поживного середовища та параметри стерилізації.

Виробництво спіруліни вимагає ретельної підготовки посівного матеріалу та поживного середовища. Цей процес включає кілька стадій підготовки, кожна з яких має свої специфічні параметри та вимоги до стерилізації.

Стадії підготовки посівного матеріалу

Процес підготовки посівного матеріалу включає наступні основні стадії:

- 1. Підтримання колекційної культури**
- 2. Отримання робочої культури**
- 3. Вирощування культури в колбах на качалках**
- 4. Вирощування культури в інокуляторах**

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		№

Підготовка поживного середовища

Обмінні процеси водорості забезпечуються за рахунок трьох типів живлення: автотрофного, гетеротрофного та міксотрофного.

В умовах інтенсивного освітлення та оптимального теплового режиму у спіруліни переважає автотрофне живлення. При цьому фотосинтетичні процеси відбуваються з використанням мінеральних елементів та вуглекислоти (CO_2) і здійснюються безпосередньо з живильного середовища.

В умовах гетеротрофного живлення частина енергії може надходити за рахунок асиміляції та окислення вуглеводів та інших органічних сполук. Ці процеси проходять переважно у темряві. Третій тип живлення поєднує в собі як автотрофні, так і гетеротрофні процеси обміну.

Промислова технологія нарощування біомаси спіруліни орієнтується на автотрофний тип живлення, тобто культура вирощується на мінеральному середовищі. Коли до живильного середовища додають промислові відходи спиртового, цукрового й інших виробництв, культивування буде проходити в умовах гетеротрофного живлення. Замість вуглекислоти буде використано вуглець органічних сполук – цукрів, спиртів та органічних кислот. Гетеротрофне живлення може відбуватися за умов чергування освітлення та темряви [2].

Для інтенсифікації обмінних процесів до середовища необхідно включати також і солі біогенних мікроелементів. Максимальна початкова концентрація мікроелементів у середовищі для спіруліни не повинна перевищувати наступних величин (мг/л): за залізом - 50, марганцем - 5, бором- 3, цинком - 2, міддю — 1, молібденом - 1, кобальтом - 0,01.

Для культивування спіруліни використовується поживне середовище, що включає такі біогенні елементи, як вуглець, азот, фосфор, сірка, магній, натрій, калій, залізо.

Особливе значення має концентрація азоту в середовищі.

Вуглець. На відміну від наземних рослин, яким доступна лише атмосферна сполука CO_2 , водорості можуть використовувати H_2CO_3

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
						№
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

(вуглецеву кислоту) та її іони – бікарбонат (HCO_3^-) і карбонат (CO_3^{2-}). Це залежить від показника рН, солоності води, парціального тиску CO_2 в атмосфері і температури середовища. У кислих розчинах домінує оксид вуглецю (CO_2), але його вплив різко зменшується при значенні рН 7-9, коли домінує бікарбонат (HCO_3^-), а в більш лужному середовищі важливу роль починає відігравати аніон CO_3^{2-} .

Поряд з вуглецем для синтезу органічної речовини водорості використовують водень, кисень, фосфор та азот.

Азот. Спіруліна може асимілювати азот за рахунок його трьох форм: газоподібний, у вигляді неорганічних сполук та азот біополімерів. Здатність фіксувати газоподібний азот виявлено лише у прокариот, до яких належить і спіруліна. З мінеральних сполук використовуються іони нітрату (NO_3^-), нітриту (NO_2^-) і амонію (NH_4^+).

Фосфор необхідний клітинам спіруліни для синтезу нуклеїнових кислот, фосfolіпідів і складних ефірів фосфорної кислоти. Єдиним природним джерелом неорганічного фосфору для спіруліни є ортофосфати. Синьо-зелені водорості здатні накопичувати надлишок фосфору у вигляді гранул.

У водоростей, які ростуть в умовах повного забезпечення, співвідношення трьох основних біогенних елементів С:N:P дорівнює 106:16:1. Це співвідношення відоме як закономірність Редфілда (Redfield et al., 1963). Але популяції водоростей можуть розвиватися і при співвідношенні N:P від 5:1 до 15:1.

Потреба спіруліни у мінеральних речовинах задовольняється за рахунок солей макро та мікроелементів. Для вирощування спіруліни у штучних умовах використовуються стандартні живильні середовища Тамія, Заррука або Громова. Середовище Тамія базується на сполуках магнію та калію, середовище Громова містить переважно сполуки натрію та магнію, тоді як в середовищі Заррука, яке використовується найчастіше, міститься значна кількість бікарбонату натрію (16,8 г/л), що створює рН на рівні 9,5.

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
						№
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Склад середовища Заррука:

	Масса, г/л
NaHCO_3	16,8
$\text{K}_2\text{HPO}_4 \times 3\text{H}_2\text{O}$	1,0
NaNO_3	2,5
K_2SO_4	1,0
NaCl	1,0
$\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$	0,2
$\text{CaCl}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$	0,04
Fe+EDTA	1,0 мл
розчин мікроелементів 1	1,0 мл
розчин мікроелементів 2	1,0 мл
агар-агар	12,0
вода дистильована до 1 літра	

Рекомендації щодо приготування середовища:

Рекомендується готувати середовище з готових розчинів. Усі розчини повинні бути стерильними, змішувати їх необхідно в стерильних умовах у ламінарі. Розчини 1 і 2 повинні бути простерилізовані автоклавуванням, мікроелементи та розчин Fe + EDTA стерелізують фільтрацією через фільтр з діаметром пор 0,22 мкм.

На 1 л середовища

Розчин 1200 мл

Розчин 2800 мл

Fe+EDTA 1 мл

Розчин мікроелементів 1 1 мл

Розчин мікроелементів 2 1 мл

Розчин 1

На 200 мл

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
						№
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

NaHCO_3 16,8 г

$\text{K}_2\text{HPO}_4 \times 3\text{H}_2\text{O}$ 1 г

Розчин 2

На 800 мл

NaNO_3 2,5 г

K_2SO_4 1 г

NaCl 1 г

$\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ 0,2 г

$\text{CaCl}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$ 0,04 г

Приготування спеціального розчину FeSO_4 та ЕДТА:

134 мл 1N KOH розчинити 30,2 г ЕДТА. Розчин розбавити водою, внести 24,9 г $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ та долити водою до 1 літра. Продіть розчин повітрям без CO_2 у темряві протягом 12 годин. Щоб позбавитися CO_2 , повітря має пройти через розчин луку.

Але, як показують дослідження, в технологічному процесі культивування спіруліни дуже важливу роль відіграє вуглець. Спіруліна пристосована для життєдіяльності в лужному середовищі і асимілює вуглець саме з мінеральних сполук.

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
						№
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

ХАРАКТЕРИСТИКА БІОЛОГІЧНОГО АГЕНТА

3.1 Таксономічний статус

Спіруліна, мікроскопічний одноклітинний організм, належить до групи ціанобактерій, раніше відомих як синьо-зелені водорості. Її таксономічна класифікація зазнала змін і уточнень, але зараз вона визнана важливим представником цієї групи через свої унікальні властивості та потенціал для біотехнологічних застосувань.

На рівні домену спіруліна належить до домену *Bacteria*, який включає прокаріотичні організми. Прокаріоти відрізняються від еукаріот відсутністю ядра та інших мембранних органел.

На рівні царства спіруліна відноситься до *Cyanobacteria* (ціанобактерії). Ці організми здатні до фотосинтезу, подібно до рослин, використовуючи хлорофіл для перетворення сонячного світла на хімічну енергію. Це дозволяє їм виробляти кисень і органічні речовини з води та вуглекислого газу.

Спіруліна включена до класу *Cyanophyceae*, який об'єднує різні види ціанобактерій, здатних до фотосинтезу і характеризуються наявністю пігментів, таких як фікоціаніни та аллофікоціаніни.

Порядок, до якого належить спіруліна, називається *Oscillatoriales*. Цей порядок включає нитчасті ціанобактерії, які можуть рухатися ковзанням, що дозволяє їм активно пересуватися у водному середовищі.

Родина, до якої відноситься спіруліна, називається *Oscillatoriaceae*. Представники цієї родини характеризуються здатністю утворювати довгі нитки клітин, що можуть бути однорідними або гетерогенними за своєю структурою.

					КР.ПЗ.162.03			
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата				
Розробив		Коробовська Т			РОЗДІЛ 3	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив		Грецький І.				Д		
Н.Контр.						КНУТД, ББТ-20		
Затвердив								

Рід спіруліни відомий під науковою назвою *Arthrospira*. Раніше спіруліна була класифікована як частина роду *Spirulina*, але подальші генетичні дослідження показали значні відмінності між цими родами, що привело до їх розділення.

Генетичні дослідження продемонстрували, що спіруліна має високу пластичність геному, що дозволяє їй адаптуватися до різних екологічних умов. Ця особливість робить спіруліну надзвичайно витривалою і придатною для культивування в різних середовищах, включаючи екстремальні умови.

Таким чином, таксономічний статус спіруліни як представника ціанобактерій підтверджує її важливість як для екологічних досліджень, так і для біотехнологічних інновацій. Від розуміння її генетичних характеристик до практичного застосування в різних галузях, спіруліна продовжує привертати увагу науковців та промисловців у всьому світі.

3.2 Морфолого-культуральні властивості

Спіруліна (*Arthrospira*) – це нитчаста ціанобактерія, яка має характерну спіральну форму, що і дало їй назву. Її клітини утворюють довгі, нерозгалужені нитки (трихоми), які зазвичай скручені у спіралі. Діаметр трихом варіюється від 5 до 10 мікрометрів, а їх довжина може досягати кількох сотень мікрометрів. Клітини мають просту будову, типову для прокаріотів, без ядра та інших мембранних органел.

Клітинна стінка спіруліни складається з пептидоглікану, що робить її відносно стійкою до зовнішніх впливів. Цитоплазматична мембрана містить хлорофіл а, каротиноїди та фікобіліпротеїни, такі як фікоціанін, що надає їй характерного синьо-зеленого кольору. Спіруліна також має газові вакуолі, які допомагають регулювати плавучість у воді.

Для культивування спіруліни використовують спеціальні середовища, що містять необхідні поживні речовини. Найбільш поширеними є середовища типу Zarrouk або стандартизоване середовище для

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
						№
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

культивування ціанобактерій. Ці середовища містять азот, фосфор, калій, натрій, магній, кальцій, залізо та інші мікроелементи, а також джерела вуглецю, такі як бікарбонат натрію.

Спіруліна є фототрофом, тобто вона використовує світло як джерело енергії. Для ефективного росту необхідне інтенсивне освітлення, зазвичай в діапазоні 1500-3000 люкс. Оптимальна температура для росту спіруліни становить 30-35°C, але вона може витримувати коливання температури від 20 до 40°C. Спіруліна також потребує рН середовища в межах 8.5-11, що робить її стійкою до лужних умов.

При культивуванні в лабораторних умовах або у промислових масштабах спіруліна часто вирощується у відкритих ставках, біореакторах або фото біореакторах. Відкриті ставки забезпечують дешевий і простий спосіб культивування, проте вони схильні до забруднення іншими мікроорганізмами. Біореактори та фото біореактори дозволяють краще контролювати умови росту, такі як освітлення, температура, аерація та склад середовища, що забезпечує вищу продуктивність і якість продукції.

Спіруліна має високу швидкість росту, що дозволяє отримувати значні біомаси за короткий час. Залежно від умов культивування, час подвоєння біомаси може становити від 2 до 5 днів. При цьому продуктивність біомаси може досягати 20-30 г сухої ваги на літр культури на день.

Спіруліна виробляє різноманітні вторинні метаболіти, які мають велике значення для харчової, фармацевтичної та косметичної промисловості. Це включає в себе амінокислоти, білки, вітаміни (зокрема В12), полісахариди, антиоксиданти, пігменти та жирні кислоти, такі як гамма-ліноленова кислота.

Таким чином, спіруліна є важливим об'єктом досліджень завдяки своїм унікальним морфологічним та культуральним властивостям, а також широкому спектру можливих застосувань у різних галузях.

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
						№
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

3.3 Фізіолого-біохімічні ознаки

Фізіологічні ознаки

1. **Фотосинтез:** Спіруліна є фототрофним організмом, що означає її здатність до фотосинтезу – процесу перетворення сонячної енергії в хімічну. Вона використовує хлорофіл а для захоплення світлової енергії, яка потім використовується для фіксації вуглекислого газу з атмосфери у вигляді органічних сполук. Під час цього процесу виділяється кисень.

2. **Фіксація азоту:** Спіруліна має здатність фіксувати атмосферний азот, перетворюючи його у форми, доступні для метаболізму. Це важливо для її виживання у середовищах з низьким вмістом азотних сполук.

3. **Оптимальні умови росту:** Спіруліна добре росте при температурах 30-35°C та рН 8.5-11. Це робить її стійкою до екстремальних умов, де багато інших мікроорганізмів не можуть вижити.

4. **Плавучість:** Завдяки наявності газових вакуолей, спіруліна може регулювати свою плавучість у воді, що допомагає їй оптимально використовувати світло для фотосинтезу.

Біохімічні ознаки

1. **Білковий склад:** Спіруліна є надзвичайно багатою на білки, які можуть складати до 70% її сухої маси. Ці білки містять всі незамінні амінокислоти, що робить її цінним джерелом білка для харчування.

2. **Пігменти:** Спіруліна містить різні пігменти, включаючи хлорофіл а, каротиноїди та фікобіліпротеїни, такі як фікоціанін. Фікоціанін надає спіруліні її характерний синьо-зелений колір і має антиоксидантні властивості.

3. **Вітаміни та мінерали:** Спіруліна є багатим джерелом вітамінів (особливо групи В, включаючи В12), вітаміну Е, мікроелементів (залізо, магній, калій, кальцій) та незамінних жирних кислот, таких як гамма-ліноленова кислота.

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
						№
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

4. **Полісахариди:** Спіруліна містить різні полісахариди, які мають імуномодулюючі та протизапальні властивості. Ці сполуки можуть сприяти зміцненню імунної системи та захисту організму від інфекцій.

5. **Антиоксиданти:** Спіруліна багата на антиоксиданти, які захищають клітини від окислювального стресу. Це включає не тільки пігменти, але і різні ферменти та інші біомолекули, що нейтралізують вільні радикали.

6. **Жирні кислоти:** Спіруліна містить поліненасичені жирні кислоти, зокрема омега-6 жирні кислоти, які важливі для підтримки здоров'я серцево-судинної системи і зниження запальних процесів в організмі.

Метаболічні процеси

1. **Цикл Кальвіна:** В процесі фотосинтезу спіруліна використовує цикл Кальвіна для фіксації вуглекислого газу. Цей цикл включає кілька стадій, в яких CO₂ перетворюється на глюкозу, яка потім може використовуватися для енергетичних потреб або синтезу інших біомолекул.

2. **Гетеротрофний метаболізм:** Хоча спіруліна є переважно фототрофним організмом, вона також може використовувати органічні сполуки як джерело вуглецю в умовах низького освітлення або в темряві.

Завдяки своїм фізіолого-біохімічним властивостям, спіруліна має велике значення для біотехнології. Її використовують для виробництва харчових добавок, косметичних продуктів, фармацевтичних препаратів, а також у біоінженерії для очищення води та біоремедіації.

Відношення до кисню

Спіруліна є ціанобактерією, що має унікальні відношення до кисню через свою фізіологію та метаболічні процеси. Як фототрофний організм, спіруліна активно виробляє кисень під час фотосинтезу, але також використовує кисень для своєї життєдіяльності. Розглянемо детальніше, як спіруліна взаємодіє з киснем.

1. **Фотосинтез:** Спіруліна здійснює фотосинтез, використовуючи світло як джерело енергії для фіксації вуглекислого газу (CO₂) і виробництва

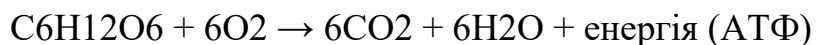
					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
						№
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

органічних сполук. У процесі фотосинтезу розщеплюється вода (H₂O), що призводить до виділення кисню (O₂). Реакція фотосинтезу виглядає наступним чином:



Цей процес відбувається у фотосинтетичних мембранах, що містять пігменти, такі як хлорофіл а, які захоплюють світлову енергію.

2. Аеробне дихання: Як і інші аеробні організми, спіруліна використовує кисень для дихання, процесу, який забезпечує клітини енергією. Аеробне дихання відбувається в цитоплазмі і включає окислення органічних речовин з утворенням CO₂, води і вивільненням енергії у вигляді АТФ (аденозинтрифосфату). Основні стадії аеробного дихання включають гліколіз, цикл Кребса і електронно-транспортний ланцюг.



Спіруліна здатна виживати у гіпоксичних (низькокисневих) умовах завдяки своїй здатності до фотосинтезу, який забезпечує її власними джерелами кисню. У випадку низької концентрації кисню в середовищі, фотосинтез стає основним джерелом кисню для клітин.

Спіруліна також може витримувати високі концентрації кисню, оскільки в процесі фотосинтезу вона виробляє значні кількості кисню. Проте надмірно високі концентрації кисню можуть призводити до оксидативного стресу, коли утворюються активні форми кисню (АФК), які можуть пошкоджувати клітинні структури. Спіруліна має антиоксидантні механізми, які допомагають нейтралізувати АФК і захищати клітини.

Завдяки своїй здатності виробляти кисень і фіксувати CO₂, спіруліна використовується в біофільтрах для очищення води та повітря. Це робить її корисною для застосувань у космічних місіях, аквакультури та інших системах, де необхідне ефективне управління газовим складом.

Відношення до кисню спіруліни демонструє її високу адаптивність до різних умов навколишнього середовища і здатність ефективно використовувати та регулювати кисень для підтримки своєї життєдіяльності.

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
						№
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Ці властивості роблять спіруліну цінним об'єктом для біотехнологічних досліджень та застосувань.

Температурний режим

Спіруліна є термофільною ціанобактерією, яка добре росте при помірно високих температурах. Температурний режим має значний вплив на її фізіологію, ріст та продуктивність. Ось детальний огляд температурних умов, за яких спіруліна найкраще функціонує:

Спіруліна найкраще росте при температурі від 30 до 35°C. У цьому діапазоні вона демонструє максимальну швидкість росту та продуктивність біомаси. За таких умов спіруліна ефективно здійснює фотосинтез і інші метаболічні процеси.

Спіруліна здатна витримувати короточасні коливання температури. Вона може рости при температурах від 20 до 40°C, хоча при температурі нижче 30°C та вище 35°C швидкість її росту знижується. Тривале перебування за межами оптимального діапазону може призвести до зменшення продуктивності та навіть до загибелі клітин.

При температурі нижче 20°C активність метаболічних процесів спіруліни значно знижується. Низькі температури уповільнюють фотосинтез, дихання та інші життєво важливі процеси. Спіруліна може виживати за таких умов, але її ріст буде дуже повільним або взагалі припиниться.

Спіруліну можна зберігати при дуже низьких температурах (-80°C або в рідкому азоті) для тривалого зберігання. При правильному заморожуванні та розморожуванні життєздатність клітин зберігається, що дозволяє використовувати такі методи для тривалого зберігання культур.

При температурі вище 35°C спіруліна починає зазнавати стресу. Високі температури можуть спричиняти денатурацію білків, пошкодження мембран і зниження активності ферментів. Якщо температура піднімається вище 40°C, це може призвести до загибелі клітин.

Незважаючи на чутливість до дуже високих температур, спіруліна має певну термостійкість. Деякі штами можуть адаптуватися до підвищених

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
						№
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

температур і виживати в умовах, де інші мікроорганізми не можуть існувати. Це дозволяє використовувати спіруліну в регіонах з високими температурами та під час літніх місяців у відкритих ставках.

Для оптимального росту спіруліни в промислових умовах використовують біореактори з системами контролю температури. Це дозволяє підтримувати стабільний температурний режим і уникати стресових умов для культури.

У відкритих ставках температура води може значно коливатися в залежності від кліматичних умов. Для регулювання температури використовують різні методи, такі як змішування води, затінення ставків або використання теплових обмінників.

Температура впливає на біохімічний склад спіруліни. Оптимальні температури сприяють максимальному синтезу білків, пігментів (наприклад, фікоціаніну) та інших корисних речовин. Відхилення від оптимального температурного діапазону може призвести до змін у складі клітин, таких як зниження вмісту білків та пігментів.

Температурний стрес може стимулювати виробництво антиоксидантних сполук, які захищають клітини від пошкоджень. Це може мати позитивний ефект на вміст антиоксидантів у біомасі спіруліни, хоча тривалий стрес зазвичай негативно впливає на загальну продуктивність.

Температурний режим є одним з ключових факторів для успішного культивування спіруліни. Дотримання оптимальних умов дозволяє отримувати високоякісну біомасу з максимальним вмістом корисних речовин. Для цього використовуються різні технологічні підходи, включаючи контроль температури в біореакторах та управління температурними умовами у відкритих ставках.

Знання температурних вимог спіруліни дозволяє оптимізувати процеси її вирощування, підвищуючи ефективність виробництва і забезпечуючи стабільну якість продукції.

Кислотність (pH)

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
						№
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Кислотність середовища, або рівень рН, є важливим фактором, що впливає на ріст і метаболізм спіруліни (*Arthrospira*). Спіруліна є лужним мікроорганізмом, тобто вона найкраще росте в умовах з високим рівнем рН. Розглянемо докладніше, як кислотність впливає на спіруліну і які умови є оптимальними для її культивування.

Спіруліна найкраще росте при рН від 8,5 до 11. У цьому діапазоні вона демонструє максимальну швидкість росту та біосинтез біомаси. Найоптимальніший рівень рН для більшості штамів спіруліни знаходиться близько 10.

Спіруліна здатна витримувати певні коливання рівня рН. Хоча її ріст сповільнюється при рН нижче 8,0 або вище 11,0, вона все ж може виживати в таких умовах. Однак, тривале перебування в середовищі з не оптимальним рН може призвести до зниження продуктивності і навіть до загибелі клітин.

При рН нижче 8,5 ріст спіруліни значно сповільнюється. Кисле середовище є стресовим для спіруліни, оскільки її ферментативні системи та клітинні мембрани адаптовані до лужних умов. У кислому середовищі може знижуватися ефективність фотосинтезу та інших метаболічних процесів.

Лужне середовище є природним для спіруліни, і вона добре адаптована до таких умов. Високий рівень рН допомагає знижувати конкуренцію з боку інших мікроорганізмів, які не можуть вижити в таких умовах. Це одна з причин, чому спіруліну часто вирощують у сильно лужних середовищах.

Оптимальний рівень рН сприяє ефективному фотосинтезу. При рН 10 ферментативні системи, що відповідають за фотосинтез, працюють найбільш ефективно, забезпечуючи високу продуктивність і синтез органічних сполук.

Лужне середовище також сприяє синтезу білків, які становлять значну частину біомаси спіруліни. Низький рН може призводити до денатурації білків і зниження їх синтезу.

У промислових умовах рівень рН середовища для вирощування спіруліни ретельно контролюється. Для цього використовують різні буферні

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
						№
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

системи та додавання лужних або кислотних речовин для підтримання стабільного рН.

У відкритих ставках рівень рН може коливатися в залежності від зовнішніх умов, таких як кількість опадів, випаровування і біологічна активність. Для регулювання рН у таких системах використовують методи, такі як додавання соди або вапна для підвищення рН.

Контроль рН є ключовим фактором для успішного вирощування спіруліни. Відповідний рівень рН забезпечує оптимальні умови для росту та продуктивності, дозволяючи отримувати високу якість і кількість біомаси. Знання та дотримання оптимальних умов кислотності дозволяє максимально використовувати потенціал спіруліни для харчових, косметичних та фармацевтичних застосувань.

Таким чином, підтримка оптимального рівня рН є критичним аспектом культивування спіруліни, що забезпечує її високу продуктивність та якість отримуваної біомаси.

Тип живлення та джерела вуглецю та енергії

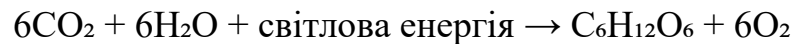
Спіруліна (*Arthrospira*) є фототрофним мікроорганізмом, що означає, що вона використовує світло як основне джерело енергії для свого росту та розвитку. Вуглець для побудови біомаси спіруліна отримує з неорганічних джерел, таких як вуглекислий газ (CO_2). Розглянемо детальніше тип живлення спіруліни та основні джерела вуглецю та енергії.

1. **Фотоавтотрофне живлення:** Спіруліна є фотоавтотрофом, тобто вона здатна синтезувати органічні речовини з неорганічних джерел, використовуючи світлову енергію. Цей тип живлення передбачає здійснення фотосинтезу, процесу, при якому світлова енергія перетворюється на хімічну енергію, що використовується для синтезу органічних молекул.

2. **Вуглекислий газ (CO_2):** Основним джерелом вуглецю для спіруліни є вуглекислий газ. Під час фотосинтезу спіруліна фіксує CO_2 з атмосфери або розчиненого у воді, перетворюючи його на органічні сполуки, такі як

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
						№
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

глюкоза. Цей процес відбувається в хлоропластах за участю ферменту рибулозобісфосфаткарбоксілази/оксигенази (РуБіско).

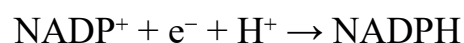


3. **Бікарбонат (HCO_3^-):** У водних середовищах спіруліна також може використовувати бікарбонат як додаткове джерело вуглецю. Бікарбонат може дисоціюватися у воді, утворюючи CO_2 , який поглинається клітинами спіруліни.

4. **Сонячне світло:** Основним джерелом енергії для спіруліни є сонячне світло. Спіруліна містить фотосинтетичні пігменти, такі як хлорофіл а, фікоціанін і алофікоціанін, які поглинають світлову енергію і використовують її для збудження електронів у фотосинтетичному ланцюгу.

5. **Штучне освітлення:** У промислових умовах вирощування спіруліни можна використовувати штучне освітлення, що забезпечує постійну та контрольовану подачу світлової енергії. Це дозволяє підтримувати стабільні умови для фотосинтезу навіть у закритих системах або в регіонах з недостатньою кількістю природного сонячного світла.

6. **Фотосистеми:** Фотосинтез у спіруліни здійснюється за участю двох фотосистем (ФС I та ФС II), які працюють послідовно. Світлова енергія збуджує електрони в пігментах фотосистем, які потім проходять через електронно-транспортний ланцюг, утворюючи АТФ (аденозинтрифосфат) і НАДФН (відновлений нікотинамідаденіндинуклеотид фосфат).



Отримані АТФ і НАДФН використовуються у темній фазі фотосинтезу, відомій як цикл Кальвіна, для фіксації CO_2 і синтезу глюкози. Цей цикл відбувається в стромі хлоропластів і включає три основні стадії: карбоксилювання, відновлення і регенерацію.

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
						№
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Гетеротрофне живлення

Хоча спіруліна є переважно фотоавтотрофом, вона може рости гетеротрофно за певних умов. У цьому випадку вона використовує органічні сполуки, такі як глюкоза або ацетат, як джерело вуглецю і енергії. Гетеротрофний ріст може бути корисним у темряві або при недостатньому освітленні, хоча він менш ефективний порівняно з фотоавтотрофним ростом.

Спіруліна також здатна до міксотрофного живлення, коли вона використовує як світло, так і органічні речовини для отримання енергії та вуглецю. Цей тип живлення дозволяє спіруліні адаптуватися до змінних умов середовища і забезпечує більш стабільний ріст.

Інтенсивність і тривалість освітлення суттєво впливають на ріст спіруліни. Для досягнення оптимальної продуктивності важливо підтримувати відповідний світловий режим. Занадто інтенсивне світло може викликати фотострес, тоді як недостатнє освітлення знижує ефективність фотосинтезу.

Концентрація вуглекислого газу в середовищі також є критичним фактором. У промислових умовах культивування іноді додають CO₂ до середовища для стимулювання росту спіруліни і підвищення продуктивності біомаси.

Таким чином, спіруліна є переважно фотоавтотрофним організмом, який використовує світло як джерело енергії і CO₂ як джерело вуглецю для свого росту. Вона також може рости гетеротрофно або міксотрофно за певних умов, що робить її високоефективним і адаптивним мікроорганізмом для біотехнологічних застосувань.

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
						№
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4.

ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ

Технологічна схема являє собою послідовність, комплекс заходів, необхідних для належного проходження всіх етапів виробничого процесу з метою одержання продукції, що відповідає стандартам якості та безпеки. Процес отримання біомаси спіруліни включає допоміжні роботи, технологічний процес, пакування маркування відвантаження та знешкодження відходів.

Технологічну схему отримання даного препарату наведено у графічній частині проекту на аркуші формату А1 (додається).

Допоміжні роботи – це початковий крок нашого виробництва. Він містить усі підготовчі процеси, необхідні для нормального перебігу власне технологічних процесів, найважливіших у виробництві, та виключення ризиків, пов'язаних з виробничим процесом.

ДР.1. Санітарна підготовка виробництва

ДР.1.1. Підготовка персоналу

ДР 1.1.1. Інструктаж робочого персоналу

Перед початком роботи в компанії працівники проходять комплексний інструктаж щодо правил безпеки на робочому місці та запобіжних заходів, яких слід дотримуватися при роботі з обладнанням та мікроорганізмами. Персонал забор'язаний вивчити основи гігієни, санітарії та принципів GMP. Їхні знання оцінюються за допомогою тесту на знання.

ДР 1.1.2. Медичний огляд

Медичні огляди працівників є важливим профілактичним заходом, який передбачає оцінку фізичного та психічного стану працівника та виявлення можливих медичних протипоказань. Це захищає здоров'я та

					КР.ПЗ.162.03			
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата				
Розробив		Коробовська Т			РОЗДІЛ 4	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив		Грецький І.				д		
Н.Контр.					КНУТД, ББТ-20			
Затвердив								

безпеку на робочому місці.

ДР 1.1.3. Підготовка одягу

Робочий одяг, який входить до комплекту технологічного одягу, повинен бути у відповідному гігієнічному стані. Тому перед використанням його сортують і перевіряють на комплектність. Потім його сушать при 80°C протягом 1,5 година бо 120 °C протягом 2 годин і відправляють на прання з використанням порошку. Використана вода нейтралізується у водоочисній установці. Для того, щоб працівники працювали в гігієнічних та комфортних умовах, перед виходом на роботу їм видається чистий одяг.

ДР.1.2. Підготовка дезінфікуючих та мийних засобів

ДР.1.2.1. Підготовка мийних засобів

Визначають необхідну кількість каустичної соди відповідно до вказаної концентрації, вимірявши і розрахувавши необхідну кількість відповідно до вимог.

Розчиняють каустичну соду у воді до заданої концентрації. Каустичну соду зазвичай додають повільно в перемішувану воду, щоб переконатися, що речовина повністю розчинилася в розчині.

ДР.1.2.2. Підготовка мийних засобів для поверхонь

Зважують і змішують відповідні компоненти миючого розчину, згідно з приписаним рецептом. Струшують компоненти розчину до отримання рівномірної та постійної концентрації миючого засобу.

ДР.1.2.3. Підготовка дезінфікуючих засобів для персоналу

Готують спеціальні дезінфікуючі розчини для обробки рук та інших частин тіла працівників, використовуючи відповідні інгредієнти, такі як антимікробні, антисептичні та противірусні засоби.

Перевіряють концентрацію та якість приготованих дезінфікуючих розчинів, щоб переконатися, що вони відповідають встановленим стандартам.

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
						№
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

ДР.1.2.4. Підготовка дезінфікуючих засобів для обладнання

Використовується 1% розчин каустичної соди. Цей розчин готується шляхом змішування NaOH з питною водою.

ДР.1.3. Підготовка ферментатора

ДР.1.3.1. Огляд, миття та ополіскування апарату

Візуально оглядають ферментер, щоб виявити можливі дефекти, забруднення або пошкодження.

Очищують ферментер, використовуючи відповідний миючий засіб, щоб видалити бруд, залишки продукту та інші забруднення.

Промивають ферментер чистою водою, щоб переконатися, що залишки миючого засобу видалені, а поверхні пристрою чисті.

ДР.1.3.2. Перевірка на герметичність

Перевіряють ферментатор на наявність витоків або протікання.

Визначають та усувають можливі джерела витоку, такі як ущільнення, клапани та прокладки.

Переконуються, що ферментаційна ємність герметична, виконавши відповідні перевірки та тести перед використанням.

ДР.1.3.3. Стерилізація

Підтримувати асептичні умови у ферментаторах, застосовуючи відповідні методи та процедури, такі як термічна стерилізація, та автоклавування.

Дотримуються вимог щодо часу стерилізації, температури, тиску та інших параметрів відповідно до встановлених процедур і правил.

Забезпечують належну стерильність ферментаторів перед їх використанням у подальшій обробці.

ДР.1.4. Підготовка приміщень

ДР.1.4.1. Щоденне прибирання

Регулярне прибирання будівлі, включаючи підлогу, стіни, стелю, меблі, вікна та інші поверхні.

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
						№
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Підтримують будівлю в чистоті та гігієнічності, видаляючи сміття, пил, бруд та інші забруднення.

Використовують відповідні миючі засоби та обладнання для забезпечення ефективного прибирання.

ДР.1.4.2. Генеральне прибирання

Ретельне і повне прибирання приміщень, включаючи ретельне миття, чищення, дезінфекцію та інші процедури для видалення сильних забруднень, бактерій, грибків та інших мікроорганізмів.

Проведення генерального прибирання відповідно до встановленої програми або за необхідності, наприклад, перед початком нового виробничого процесу, після закінчення попереднього процесу або при виявленні забруднення, що вимагає спеціального втручання.

ДР.2. Підготовка та стерилізація аераційного повітря

ДР 2.1 Забір атмосферного повітря

Забір здійснюється за допомогою повітрозабірника на висоті приблизно 30 м над найвищою точкою будівлі, в якій відбувається весь процес. Висота будівлі становить приблизно 12 м, що відповідає висоті триповерхового будинку.

ДР 2.2. Очищення повітря від пилу та механічних частинок

Зважені частинки видаляються до 80% чистоти за допомогою фільтра грубого очищення, $R=65$ Па (на початку) і 250 Па (наприкінці).

ДР 2.3. Стиснення повітря

Стиснення повітря відбувається в компресорі за тиску 0,35 МПа, внаслідок чого температура повітря підвищується до 120-200°C.

ДР 2.4. Охолодження повітря та видалення вологи

Повітря охолоджується до 25-30 °C у теплообміннику, а вологість повітря знижується до 60 %. Сконденсована волога видаляється в ресивері.

ДР 2.5. Нагрівання повітря

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
						№
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

Повітря нагрівається теплообмінником до 50°C, тим самим знижуючи вологість повітря до 50 %.

ДР 2.6. Очищення повітря в головному фільтрі

Головний фільтр очищає повітря в розташований поруч із ферментаційним відділенням і має чистоту 95%, R=80 Па на початку та 450 Па наприкінці.

ДР 2.7. Очищення повітря в індивідуальних фільтрах

Повітря очищається окремими фільтрами до рівня очищення 99,995%, R=140 Па на початку і 600 Па в кінці.

ДР.3. Підготовка титрувальних розчинів для поживного середовища

ДР 3.1. Приготування 6% - ї HCl.

ДР 3.2. Приготування і стерилізація розчину титрувального агента (6 %-й розчин NaOH)

ДР 4. Приготування та стерилізація поживних середовищ.

ДР 4.1. Приготування та стерилізація середовища для вирощування інокуляту в колбах на качалках

Для вирощування інокуляту на даному етапі необхідно приготувати 1000 мл поживного середовища.

ДР 4.1.1. Приготування і стерилізація композиції I

ДР 4.1.2. Приготування і стерилізація композиції II

ДР 4.2. Приготування поживного середовища для вирощування посівного матеріалу в інокуляторі об'ємом 10 л

Для одержання посівного матеріалу на даному етапі необхідно приготувати 10 л поживного середовища. Для засіву поживного середовища в інокуляторі необхідно внести 1,0 л рідкого посівного матеріалу, тому сумарна кількість води для композицій становить 9 л (так як стерилізація проходить безпосередньо в апараті, також враховують 10% конденсату).

ДР 4.2.1. Приготування і стерилізація композиції I

ДР 4.2.2. Приготування і стерилізація композиції II

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
						№
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

ТП 5. Підготовка посівного матеріалу

ТП 5.1. Підтримання колекційної культури

ТП 5.2. Одержання робочої культури на агаризованому середовищі

Робочу культуру продуцента отримують розсівами колекційної культури на чашки Петрі із середовищем в асептичних умовах. Культуру на чашці Петрі вирощують при температурі 28°C протягом 4 діб.

ТП 5.3. Вирощування посівного матеріалу в колбах на качалках

Культивування здійснюється у колбах на качалці (220 об/хв) при 28°C упродовж 48 год. Під час культивування контролюють температуру. У кінці культивування відбирають пробу для здійснення мікробіологічного контролю та визначення концентрації біомаси.

ТП 6. Біосинтез

ТП 7. Зберігання культуральної рідини

ТП 7.1. Зберігання культуральної рідини

Культуральне середовище відправляється в резервуар для зберігання, де воно зберігається при кімнатній температурі до тих пір, поки продукт не буде готовий до очищення.

ЗВ 8. Знешкодження відходів

ЗВ 8.1. Знешкодження рідких відходів

Залишки титрування, залишки елюенту та промивні води утилізуються на очисних спорудах.

ЗВ 8.2. Знешкодження твердих відходів

Після фільтрації культурального середовища біомасу, що залишилася, відправляють на утилізацію.

ЗВ 8.3. Знешкодження повітряних відходів

Відпрацьоване повітря з інокуляторів, ферментаторів, випарників фільтрату та розпилювальних сушарок спрямовується в установки для очищення відпрацьованого повітря.

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
						№
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5

КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ЦІЛЬОВОГО ПРОДУКТУ

5.1 Методики контролю на стадії біосинтезу.

Контроль якості на стадії біосинтезу є критично важливим для забезпечення стабільності та ефективності виробничого процесу. Методи контролю розділяють на мікробіологічний контроль та хіміко-технологічний контроль.

Контроль мікробіологічної чистоти простерилізованого поживного середовища полягає в забезпеченні відсутності контамінації у поживному середовищі після стерилізації. Для цього проби поживного середовища відбираються безпосередньо після стерилізації, інокуються на агаризовані пластинки або у рідке середовище, інкубуються при температурі 28-30°C протягом 24-48 годин. Після інкубації перевіряють наявність росту мікроорганізмів. Якщо виявлено колонії, це свідчить про контамінацію. Контрольні точки цього процесу – після стерилізації середовища, перед інокуляцією.

Мікробіологічна чистота простерилізованого аераційного повітря забезпечується шляхом контролю чистоти повітря, що подається у ферментатори для аерації. Для цього використовуються спеціальні аеросамплери для відбору проб повітря після його стерилізації. Проби повітря інокуються на агарові пластинки, які інкубуються при температурі 28-30°C протягом 24-48 годин. Після інкубації пластинки перевіряються на наявність мікроорганізмів. Контрольні точки цього процесу – після стерилізації повітря, перед подачею у ферментатори.

					КР.ПЗ.162.03			
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата				
Розробив		Коробовська Т			РОЗДІЛ 4	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив		Грецький І.				Д		
Н.Контр.					КНУТД, ББТ-20			
Затвердив								

Регулярний відбір проб посівного матеріалу та культуральної рідини для оцінки морфології, чистоти та фізіологічних характеристик є частиною мікробіологічного контролю. Відбір проб посівного матеріалу та культуральної рідини здійснюється на різних стадіях біосинтезу, після чого проби інокуються на різні живильні середовища. Інкубація та подальша оцінка морфологічних властивостей (форма клітин, наявність спор, тощо) та визначення фізіологічних показників дозволяють забезпечити контроль чистоти та ефективності процесу. Контрольні точки цього процесу – на різних етапах біосинтезу, особливо перед критичними стадіями культивування.

Хіміко-технологічний контроль включає аналіз компонентного складу поживного середовища та культуральної рідини для забезпечення оптимальних умов росту та продукції рибофлавіну. Проби поживного середовища відбираються перед і після стерилізації, аналізуються за допомогою методів HPLC та спектрофотометрії для визначення концентрації компонентів. Регулярний моніторинг складу культуральної рідини під час біосинтезу дозволяє забезпечити стабільність процесу. Контрольні точки цього процесу – на початку процесу, під час ферментації, перед збиранням культуральної рідини.

Контроль фізико-хімічних параметрів середовища:

- **Температура:** Використовуються термометри та термопари для постійного моніторингу температури середовища. Важливо підтримувати температуру в межах 30-35°C для оптимального росту.

- **pH:** Рівень pH контролюється за допомогою pH-метрів. Оптимальний діапазон для спіруліни – від 8,5 до 11. Для регулювання pH використовують буферні розчини або додають лужні речовини.

- **Освітлення:** Інтенсивність світла контролюється за допомогою люксометрів або квантових сенсорів, які вимірюють фотосинтетично активну радіацію (PAR). Оптимальна інтенсивність світла забезпечується

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
						№
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

використанням світлодіодних ламп або інших джерел освітлення з відповідною спектральною характеристикою.

- **Концентрація CO₂:** Вміст вуглекислого газу в середовищі моніториться за допомогою газових аналізаторів. У промислових умовах додають CO₂ до середовища для стимулювання росту.

Моніторинг біомаси та клітинної концентрації:

- **Оптична щільність (OD):** Використовується спектрофотометр для вимірювання оптичної щільності культури при довжині хвилі 680-750 нм. Це дозволяє оцінити концентрацію клітин у суспензії.

- **Суша вага біомаси:** Для визначення кількості біомаси здійснюють центрифугування зразка, висушують отриману осад і зважують його на аналітичних вагах.

- **Кількісний підрахунок клітин:** Проводиться за допомогою мікроскопа та лічильника клітин. Можна використовувати автоматичні системи підрахунку, такі як лічильники часток або цитофлуориметри.

Використання цих методик дозволяє забезпечити оптимальні умови для росту спіруліни, підвищити ефективність процесу біосинтезу та забезпечити стабільну якість отримуваної біомаси. Комплексний підхід до контролю та моніторингу включає як традиційні методи, так і сучасні технології, що дозволяє максимально автоматизувати та оптимізувати процес культивування.

5.2 Методи контролю цільового продукту

Контроль якості готової продукції спіруліни є ключовим аспектом виробничого процесу, що забезпечує високу якість та безпечність продукту для споживачів. Процеси контролю якості включають моніторинг сировини, контроль умов культивування, а також тестування кінцевого продукту на різні показники, такі як чистота, відсутність шкідливих домішок та мікробіологічна безпечність.

Основні етапи контролю якості

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
						№
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

1. Контроль сировини

На початкових етапах виробництва важливо перевіряти якість сировини, зокрема води та поживних речовин, які використовуються для культивування спіруліни. Вода повинна бути чистою, без важких металів та інших шкідливих домішок. Використання чистих та безпечних поживних речовин забезпечує оптимальні умови для росту спіруліни.[34]

2. Контроль умов культивування

Протягом процесу вирощування спіруліни необхідно постійно моніторити основні параметри, такі як температура, рН, концентрація поживних речовин та рівень освітлення. Використання автоматизованих систем контролю дозволяє забезпечити стабільні умови вирощування та уникнути контамінації небажаними мікроорганізмами.[36]

3. Тестування готового продукту

Після збору та обробки спіруліни проводяться різні лабораторні тести для перевірки якості готового продукту. Основними показниками контролю є:

- Чистота: Тестування на відсутність важких металів, таких як ртуть, кадмій, арсен та свинець. Використання методів спектрофотометрії дозволяє виявити навіть мікроскопічні кількості цих елементів.
- Мікробіологічна безпечність: Перевірка на наявність патогенних мікроорганізмів, таких як бактерії групи кишкової палички (*E. coli*), *Salmonella* spp., а також токсини, зокрема мікроцистіни та ВМАА (β -метиламінно-L-аланін).
- Хімічний склад: Визначення вмісту білка, вітамінів, мінералів та антиоксидантів для підтвердження поживної цінності спіруліни.
- Органолептичні властивості: Оцінка зовнішнього вигляду, смаку та запаху готового продукту.[36]

4. Документація та сертифікація

Для забезпечення прозорості та відповідності стандартам якості виробники спіруліни повинні дотримуватись міжнародних стандартів, таких

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
						№
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

як ISO 9001:2015. Сертифікація за цими стандартами включає регулярні аудити та перевірки виробничих процесів.[2]

Контроль якості є невід'ємною частиною виробництва спіруліни, що забезпечує високу якість та безпечність готового продукту. Завдяки ретельному моніторингу всіх етапів виробництва, від сировини до кінцевого продукту, спіруліна відповідає найвищим стандартам якості, що робить її цінним інгредієнтом для харчової, фармацевтичної та косметичної промисловості.

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
						№
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

1. Спіруліна платенсіс (*Arthrospira platensis*) - це одноклітинна синьо-зелена водорість, яка характеризується високим вмістом білка (до 70% від сухої маси), вітамінів і мінералів. Вона має спіральну ниткоподібну структуру, що складається з багатьох клітин з'єднаних між собою. Спіруліна багата на біологічно активні речовини, включаючи фікобіліпротеїни, каротиноїди, полісахариди, фенольні сполуки та гамма-ліноленову кислоту. Ці компоненти надають спіруліні антиоксидантні, протизапальні, імуномодулюючі та антивірусні властивості.
2. Спіруліна вирощується у відкритих басейнах і закритих фотореакторах. Вирощування спіруліни у відкритих басейнах є економічно вигідним методом, проте вимагає контролю за умовами навколишнього середовища, щоб уникнути контамінації та забезпечити оптимальний ріст. Закриті фотореактори дозволяють забезпечити стабільні умови вирощування, що підвищує якість та чистоту продукту, однак цей метод є більш затратним. Процес культивування спіруліни включає підготовку поживних середовищ, регулювання температури, освітлення та рН. Контроль якості готової продукції здійснюється за допомогою фізико-хімічних, мікробіологічних та органолептичних методів. Важливою складовою є також аналіз вмісту токсичних речовин, щоб гарантувати безпеку спіруліни для споживачів.
3. Спіруліна є надзвичайно цінним джерелом білка, що робить її перспективною сировиною для харчової промисловості. Її біомаса містить до 60-70% білка, який містить всі незамінні амінокислоти. Технології видобування білка з спіруліни мають забезпечити максимальний вихід та збереження біоактивних властивостей білка. Основні методи включають ультразвукову екстракцію, яка є ефективним методом для видобування білка,

оскільки вплив ультразвуку підвищує проникність клітинної стінки та сприяє

КР.ПЗ.162.03

Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата				
Розробив		Коробовська Т			ВИСНОВКИ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив		Грецький І.				Д		
Н.Контр.						КНУТД, ББТ-20		
Затвердив								

вивільненню внутрішньоклітинного вмісту. Спіруліна також має великий потенціал для лікування та профілактики різних захворювань, включаючи діабет, серцево-судинні хвороби, анемію, рак та вірусні інфекції.

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
						№
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Somchit, M. N., Mohamed, N. A., Ahmad, Z., Zakaria, Z. A., Shamsuddin, L., Omar-Fauzee, M. S., & Kadir, A. A. (2014). Anti-inflammatory and anti-pyretic properties of *Spirulina platensis* and *Spirulina lonar*: a comparative study. *Pakistan journal of pharmaceutical sciences*, 27(5), 1277–1280.
2. Turpin, P. J. F. (1827). *Spirulina oscillarioide* [*Spirulina oscillation*]. In F. G. Levrault (Ed.), *Dictionnaire des Sciences Naturelles* (Vol. 50, pp. 309-310). Paris: Le Normant. doi:10.5962/bhl.title.30799
3. Ayala, F. Guía sobre el cultivo de *Spirulina*. In: *Biotecnología de Microorganismos Fotoautótrofos*. Motril, Granada, España.1998, p. 3-20.
4. Wu, Q., Liu, L., Miron, A., Klímová, B., Wan, D., & Kuča, K. (2016). The antioxidant, immunomodulatory, and anti-inflammatory activities of *Spirulina*: an overview. *Archives of toxicology*, 90(8), 1817–1840. <https://doi.org/10.1007/s00204-016-1744-5>
5. Hoseini SM, Khosravi-Darani K, Mozafari MR (2013) Nutritional and medical applications of spirulina microalgae. *Mini Rev Med Chem* 13(8):1231–1237
6. Henrikson, R. *Microalga Spirulina, superalimento del futuro*. Ronore Enterprises. 2^a ed. Ediciones Urano, Barcelona, España.1994, pp. 222.
7. Vonshak, A. Appendices. In: Vonshak, A., Ed. *Spirulina platensis* (Arthrospira): Physiology, Cell biology and Biotechnology. Taylor and Francis, London, Great Britain; 1997, pp. 213- 226.
8. Chen, W., Xu, J., Yu, Q., Yuan, Z., Kong, X., Sun, Y., Wang, Z., Zhuang, X., Zhang, Y., & Guo, Y. (2020). Structural insights reveal the effective *Spirulina platensis* cell wall dissociation methods for multi-output recovery. *Bioresource*

					КР.ПЗ.162.03		
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ		
Розробив	Коробовська Т						
Перевірив	Грецький І.				Д		
Н.Контр.					КНУТД, ББТ-20		
Затвердив							

technology, 300, 122628. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122628>

9. Balloni, W., Tomaselli, L., Giovanetti, L. and Margheri, M.C. 1980. *Biologia fondamentale Del genere Spirulina*. In: Cantarelli, C., Ciferri, O., Florenzano, G., Kapsiotis, G., Materassi, R., Treccani, U., Eds. Progetto finalizzato "Ricerca di nuove fonti proteiche e di nuove formulazioni alimentari". Atti del Convegno: Prospettive della coltura di Spirulina in Italia. Consiglio Nazionale delle Ricerche. Firenze-Academia dei Georgofili, CNR, Tipografia Coppini; pp.49-82.

10. I.M, Rafiqul & K.C.A, Jalal & M.Z, Alam. (2005). Environmental Factors for Optimisation of Spirulina Biomass in Laboratory Culture. *Biotechnology*. 4. 10.3923/biotech.2005.19.22.

11. Tzachor A, Smidt-Jensen A, Ramel A, Geirsdóttir M. Environmental Impacts of Large-Scale Spirulina (*Arthrospira platensis*) Production in Hellisheidi Geothermal Park Iceland: Life Cycle Assessment. *Mar Biotechnol* (NY). 2022 Oct;24(5):991-1001. doi: 10.1007/s10126-022-10162-8. Epub 2022 Sep 7. Erratum in: *Mar Biotechnol* (NY). 2022 Dec;24(6):1177. doi: 10.1007/s10126-022-10173-5. PMID: 36071348; PMCID: PMC9560931.

12. Ciferri, O., 1983. Spirulina, the edible organism. *Microbiol. Rev.* 47(4), 551-578.

13. Dillon, J.C., Phuc, A.P., Dubacq, J.P., 1995. Nutritional value of the alga Spirulina. *World Rev. Nutr. Diet.* 77, 32-46

14. Khan, M., Shobha, J.C., Mohan, I.K., Naidu, M.U., Sundaram, C., Singh, S., Kuppusamy, P., Kutala, V.K., 2005. Protective effect of Spirulina against doxorubicin-induced cardiotoxicity. *Phyther. Res.* 19(12), 1030- 1037.

15. Iwata, K., Inayama, T., Kato, T., 1990. Effects of *Spirulina platensis* on plasma lipoprotein lipase activity in fructose-induced hyperlipidemic rats. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.* 36(2), 165-171.

16. Hayashi, K., Hayashi, T., Kojima, I., 1996. A natural sulfated polysaccharide, calcium spirula, isolated from *Spirulina platensis*: In vitro and ex

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
						№
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

vivo evaluation of anti-herpes simplex virus and anti-human immunodeficiency virus activities. *AIDS Res. Human Retroviruses*. 12, 1463- 1471

17. Genene Tefera, 2008. *Spirulina: The magic food*. <http://www.abc.gov.et>

18. Genene, Tefera & Hailu, Dereje & Tsegaye, Zerihun. (2016). Importance of *Arthrospira* [*Spirulina*] in Sustainable Development. 2016. 60-68.

19. Lafarga, T., Fernández-Sevilla, J. M., González-López, C., & Ación-Fernández, F. G. (2020). *Spirulina for the food and functional food industries*. *Food research international (Ottawa, Ont.)*, 137, 109356. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109356>

20. Balachandran, P., Pugh, N.D., Ma, G. and Pasco, D.S. Toll-like receptor 2-dependent activation of monocytes by *Spirulina* polysaccharide and its immune enhancing action in mice , *International Immunopharmacology* ,Volume 6, Issue 12, 5 December 2006, Pages 1808-1814.

Here are the APA-style citations for the provided resources:

21. Potential of *Spirulina platensis* as a feed supplement for poultry to enhance growth performance and immune modulation. (n.d.). *Frontiers in Immunology*. Retrieved from <https://www.frontiersin.org/journals/immunology/articles/10.3389/fimmu.2023.1072787/full>

22. Hu, Q., Kurano, N., & Kawachi, M. (2019). Large-scale cultivation of *Spirulina* for biological CO2 mitigation in open raceway ponds using purified CO2 from a coal chemical flue gas. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 7, 441. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2019.00441>

23. Khan, Z., Bhadouria, P., & Bisen, P. S. (2005). *Spirulina – From growth to nutritional product: A review*. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 15(1), 103–115. <https://doi.org/10.1021/bm049550m>

24. Vonshak, A., & Tomaselli, L. (2000). Production of *Spirulina* biomass in closed photobioreactors. *Journal of Applied Phycology*, 12(3-5), 263–268. <https://doi.org/10.1023/A:1008133324486>

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		№

25. Lanlan, Zhang & Chen, Lin & Junfeng, Wang & Yu, Chen & Xin, Gao & Zhaohui, Zhang & Liu, Tianzhong. (2015). Attached cultivation for improving the biomass productivity of *Spirulina platensis*. *Bioresource Technology*. 181. 10.1016/j.biortech.2015.01.025.

26. Kim, Choong-Jae & Jung, Yun-Ho & Choi, Gang-Guk & Park, Yong-Ha & Ahn, Chi-Yong & Oh, Hee-Mock. (2006). Optimization of Outdoor Cultivation of *Spirulina platensis* and Control of Contaminant Organisms. *ALGAE*. 21. 133-139. 10.4490/ALGAE.2006.21.1.133.

○ 27. Khor, Wei Han & Kang, Hooi Siang & Lim, Jun-Wei & Iwamoto, Koji & Tang, Collin & Goh, Pei & Quen, Lee & Shaharuddin, Nik & Lai, Nai. (2022). Microalgae Cultivation in Offshore Floating Photobioreactor: State-of-the-Art, Opportunities and Challenges. *Aquacultural Engineering*. 98. 102269. 10.1016/j.aquaeng.2022.102269.

28. Heras, H., & Rinaldoni, A. N. (2020). *Spirulina platensis* protein as sustainable ingredient for nutritional food products development. *Foods*, 9(11), 1664.

29. Goyanes, S., Miranda, M., & Belfiore, C. (2012). Drying and quality of microalgal powders for human alimentation. In M. B. Gupta (Ed.), *Bioprocessing of marine macroalgae and microalgae to obtain high value products* (pp. 131–144). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/31959>

30. Costa, J. A. V., Filho, P. A. D., Espíndola, J. C., Pinto, S. D. S., & Franco, T. T. (2019). Nutritional, functional, textural and sensory evaluation of *Spirulina* enriched green pasta: A potential dietary and health supplement. *Foods*, 8(6), 205. <https://doi.org/10.3390/foods8060205>

31. Choi, W.-Y., Kim, S. G., Kim, H. J., & Kang, D.-H. (2020). Optimization of *Arthrospira platensis* (*Spirulina*) growth: From laboratory scale to pilot scale. *Foods*, 9(11), 1544. <https://doi.org/10.3390/foods9111544>

32. Harith, Z. T., Algahtani, F. D., El-Shaikh, K. A., El-Enshasy, H. A., & Rahman, R. N. Z. R. A. (2020). Optimization of lipid extraction from *Spirulina*

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		№

spp. by ultrasound application and mechanical stirring using the Taguchi method of experimental design. *Foods*, 9(10), 1471. <https://doi.org/10.3390/foods9101471>

33. Iravani, S., Khatami, M., & Varma, R. S. (2020). New nutrients evaluation in *Spirulina maxima* growth for phycocyanin, carbohydrate, and biochar production. *Journal of Biomass and Bioenergy*, 146, 105795. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105795>

34. Bumandalai, Odgerel & Bayliss, Kirsty & Moheimani, Navid. (2024). Innovative processes for combating contaminants in fresh *Spirulina*. *Algal Research*. 78. 103397. [10.1016/j.algal.2024.103397](https://doi.org/10.1016/j.algal.2024.103397).

35. Anvar, Amir Ali & Nowruzi, Bahareh. (2021). Bioactive Properties of *Spirulina*: A Review. *Microbial Bioactives*. 4. 134-142. [10.25163/microbioacts.412117B0719110521](https://doi.org/10.25163/microbioacts.412117B0719110521).

36. Benedetti, S., Benvenuti, F., & Pagliarani, S. (2018). Nutritional quality and safety of the *Spirulina* dietary supplements. *Food Supplements*, 7(5), 61. <https://doi.org/10.3390/fds7050061>

37. Najafian, N., Aarabi, A., & Nezamzadeh-Ejhieh, A. (2023). Intensified Phycobiliprotein Extraction from *Spirulina Platensis* by Freezing and Ultrasound Methods. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 42(2), 601-617. doi: [10.30492/ijcce.2022.541486.4992](https://doi.org/10.30492/ijcce.2022.541486.4992)

38. Wang, F., Yu, X., Cui, Y., Xu, L., Huo, S., Ding, Z., Hu, Q., Xie, W., Xiao, H., & Zhang, D. (2023). Efficient extraction of phycobiliproteins from dry biomass of *Spirulina platensis* using sodium chloride as extraction enhancer. *Food Chemistry*, 406, 135005. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135005>

39. Pan-utai, W., & Iamtham, S. (2019). Extraction, purification and antioxidant activity of phycobiliprotein from *Arthrospira platensis*. *Process Biochemistry*, 82, 189-198. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2019.04.014>

40. Cottas, A.G., Ribeiro, E.J., Watanabe, E.O. *et al.* Evaluation of extraction methods and purification by aqueous two-phase systems of phycocyanin from *Anabaena variabilis* and *Nostoc* sp.. *Braz. J. Chem. Eng.* **38**, 617–627 (2021). <https://doi.org/10.1007/s43153-021-00131-4>

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
						№
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		

41. Rodrigues, R. D. P., De Castro, F. C., Santiago-Aguiar, R. S. D., & Rocha, M. V. P. (2018). Ultrasound-assisted extraction of phycobiliproteins from *Spirulina* (*Arthrospira*) *platensis* using protic ionic liquids as solvent. *Algal Research*, 31, 454-462. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2018.02.021>

42. Athiyappan, K. D., Routray, W., & Paramasivan, B. (2024). Phycocyanin from *Spirulina*: A comprehensive review on cultivation, extraction, purification, and its application in food and allied industries. *Food and Humanity*, 2, 100235. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2024.100235>

43. Nikolova, K., Petkova, N., Mihaylova, D., Gentscheva, G., Gavrailov, G., Pehlivanov, I., & Andonova, V. (2024). Extraction of Phycocyanin and Chlorophyll from *Spirulina* by “Green Methods”. *Separations*, 11(2), 57. <https://doi.org/10.3390/separations11020057>

44. Neag, E., Stupar, Z., Varaticeanu, C., Senila, M., & Roman, C. (2021). Optimization of Lipid Extraction from *Spirulina* spp. By Ultrasound Application and Mechanical Stirring Using the Taguchi Method of Experimental Design. *Molecules*, 27(20), 6794. <https://doi.org/10.3390/molecules27206794>

45. M., M., & K., D. (2020). *Spirulina platensis* Protein as Sustainable Ingredient for Nutritional Food Products Development. *Sustainability*, 13(12), 6849. <https://doi.org/10.3390/su13126849>

46. Marzorati, Stefania & Schievano, Andrea & Idà, Antonio & Verotta, Luisella. (2019). Carotenoids, Chlorophylls and Phycocyanin from *Spirulina*. Supercritical CO₂ and Water Extraction Methods for Added Value Products Cascade. *Green Chemistry*. 22. 10.1039/C9GC03292D.

47. Papapostolou, H., Kachrimanidou, V., Alexandri, M., Plessas, S., Papadaki, A., & Kopsahelis, N. (2023). Natural Carotenoids: Recent Advances on Separation from Microbial Biomass and Methods of Analysis. *Antioxidants*, 12(5), 1030. <https://doi.org/10.3390/antiox12051030>

48. Dey, S., & Rathod, V. K. (2012). Ultrasound assisted extraction of β -carotene from *Spirulina platensis*. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20(1), 271-276. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2012.05.010>

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		№

49. Ragusa, I., Nardone, G. N., Zanatta, S., Bertin, W., & Amadio, E. (2021). Spirulina for Skin Care: A Bright Blue Future. *Cosmetics*, 8(1), 7. <https://doi.org/10.3390/cosmetics8010007>

50. Saraswathi, K., & Kavitha, CH. N. (2023). Spirulina: Pharmacological Activities and Health Benefits. *Journal of Young Pharmacists*, 15(3), 441–447. <https://doi.org/10.5530/jyp.2023.15.59>

51. Khan, Zakir & Bhadauriya, Pratiksha & Bisen, Prakash. (2005). Nutritional and Therapeutic Potential of Spirulina. *Current pharmaceutical biotechnology*. 6. 373-9. 10.2174/138920105774370607.

					КР.ПЗ.162.03	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ Документа	Підпис	Дата		№

ДОДАТКИ

Додаток А

publisher.agency
Belgium

June, 2024
№ 6



Brussels, Belgium
6-7.06.2024

International
Scientific
Conference

**Progress
in Science**

«Progress in Science» (June 6-7, 2024). Brussels, Belgium



Psychological Sciences

EMOTIONAL STATE ISSUES AND CAREER OPPORTUNITIES OF GRADUATE STUDENTS.....	225
<i>Huzumli Chinara Alov</i>	
ПРОБЛЕМА ДИАГНОСТИКИ ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ В УСЛОВИЯХ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ШКОЛЫ	228
<i>Жапаров Владимир Жанатович</i>	
<i>Надиреева Айша Ойентазевна</i>	
<i>Ерсаинова Маншук Жоланамановна</i>	

Geographic Sciences

ACTIVATION OF MUDFLOWS AGAINST THE BACKGROUND OF CURRENT CLIMATE CHANGE.....	236
<i>Maddana Kuvshinova</i>	
<i>Rikra Kuvshinova</i>	
LINGUISTIC AND HISTORICAL DESCRIPTION OF THE HYDRONYMS OF THE KURENBEL DEPRESSION IN THE SOUTHEASTERN PART OF THE ZHETYSU RANGE	240
<i>Raisa Baikulshayeva</i>	

Historical Sciences

CRÉATION DE L'HOMME SOVIÉTIQUE : FORMATION DE LA MÉMOIRE COLLECTIVE ET DE L'IDENTITÉ SOVIÉTIQUE GÉORGIENNE (PLUSIEURS ASPECTS)	245
<i>Maia Kuvshinova</i>	

Biological Sciences

ОЦЕНИВАНИЕ СОВРЕМЕННОГО СТАТУСА ФЛОРЫ ДОЛИНЫ ЧЕРНОГО ИРТЫША (ПОИСК НОВЫХ МЕСТ ПРОИЗРАСТАНИЯ RHEUM COMPACTUM L. В КАЗАХСТАНЕ)	254
<i>Девитай Алия Нурлановна</i>	
<i>Иманова Эльмира Мирзабековна</i>	
UTILIZATION OF BIOTECHNOLOGICAL METHODS FOR ENHANCING YIELD AND QUALITY OF SPIRULINA PRODUCTION	258
<i>Tetiana Korobovska</i>	

Philosophical Sciences

ON UNDERSTANDING THE CATEGORY 'TIME' IN THE HISTORY OF PHILOSOPHY: FROM 'CHRONOS' TO HEIDEGGER	260
<i>Akinova Olga Taktamirovna</i>	
<i>Kalchev Vladimir</i>	

Medical Sciences

HIGH-TECH RADIATION THERAPY FOR MALIGNANT TUMORS.....	266
<i>Arman A. Khodzhaev</i>	
<i>Aitkul K. Seitkhanova</i>	
<i>Martina A. Minina</i>	
<i>Sarapdul M. Kuzhasheva</i>	
<i>Saule D. Tazhiteva</i>	
<i>Karubazh Z. Datsbaeva</i>	
<i>Gulmira K. Azdova</i>	
<i>Karuba A. Baranova</i>	
<i>Zulma K. Saivetayeva</i>	
<i>Moldir M. Yeterbayeva</i>	
EMBRYO IMPLANTATION FAILURE	273
<i>Kamalov Murtajimadali Iskanzerovich</i>	
<i>Yekubay Aidana Supulshayevna</i>	
<i>Shovirbayeva Saultanat Sarapdulovna</i>	

Utilization of Biotechnological Methods for Enhancing Yield and Quality of Spirulina Production

Tetiana Korobovska

Student, Kyiv National University of Technologies and Design, Department of Biotechnology, Leather and Fur, Kyiv, Ukraine

Spirulina (*Arthrospira platensis*) is recognized as one of the most promising sources of protein and a rich repository of bioactive compounds. To enhance both the yield and quality of spirulina production, various biotechnological approaches and methods have been employed.

One of the key aspects of spirulina cultivation lies in optimizing the growth conditions. Biotechnological methods enable the creation of optimal conditions for the growth and development of the microorganism, including temperature control, illumination, pH levels, and CO₂ concentration.

The cultivation of spirulina using biotechnological methods offers several advantages over conventional approaches. Bioreactor systems provide precise control over environmental factors such as temperature, light intensity, pH, and nutrient availability, resulting in optimized growth conditions for spirulina. Photobioreactors, in particular, offer advantages in terms of scalability, productivity, and sterility, making them a preferred choice for large-scale spirulina cultivation.

In addition to environmental control, genetic engineering plays a crucial role in enhancing spirulina production. By introducing genetic modifications, researchers can tailor spirulina strains to exhibit desired traits such as increased growth rate, higher biomass yield, and elevated content of bioactive compounds. Genetic manipulation also enables the development of strains with improved tolerance to environmental stresses, such as high light intensity, temperature fluctuations, and nutrient limitations, thereby enhancing overall productivity and robustness of spirulina cultures.

Biotechnological methods are also employed to optimize nutrient utilization and reduce resource inputs in spirulina cultivation. Metabolic engineering approaches aim to enhance carbon fixation efficiency and redirect metabolic fluxes towards target compounds of interest, such as proteins, lipids, or pigments. By optimizing nutrient uptake and metabolic pathways, researchers can maximize biomass accumulation and improve the nutritional profile of spirulina biomass, enhancing its value as a sustainable source of food, feed, and bioactive compounds.

Furthermore, biotechnological innovations have led to advancements in downstream processing techniques for spirulina biomass. Novel extraction methods, such as ultrasound-assisted extraction, enzymatic hydrolysis, and supercritical fluid extraction, offer efficient and environmentally friendly alternatives to conventional extraction methods, enabling the recovery of high-value compounds from spirulina biomass with minimal processing steps and energy consumption.

Furthermore, the utilization of genetically modified strains of spirulina allows for increased yield and enhanced content of beneficial compounds. Through genetic engineering, it is possible to improve spirulina's properties, such as increasing protein content, pigments, or vitamins.

To optimize the process of harvesting and purifying spirulina, biotechnological methods such as membrane filtration, centrifugation, and chromatography are employed. These methods yield a product of high purity while preserving its beneficial properties.