

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет лісового господарства та екології
Кафедра біоресурсів, аквакультури
та природничих наук

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Горян Андрій Іванович

(ПІБ здобувача вищої освіти)

УДК 33:502/504/(075.8)

(індекс)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Перспективи індустріального
вирощування водоростей

(тема роботи)

207 “Водні біоресурси та аквакультура”

(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

Науково-професійна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Науковий керівник
Матковська Світлана Іванівна
(прізвище, ім'я, по батькові)
К.С.-Г.Н., доцент
(науковий ступінь, вчене звання)

Житомир – 2024

АНОТАЦІЯ

Горян А.І. – Перспективи індустриального вирощування водоростей. Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 207 – Водні біоресурси та аквакультура – Поліський національний університет, Житомир, 2024 рік.

В роботі надано аналіз методів та технологій вирощування *Spirulina platensis* відкритим та закритим методами на приватних підприємствах України, проведено дослідження використання різних поживних середовищ для вирощування Спіруліни відкритим басейновим методом.

Наукова новизна одержаних результатів: вперше проведено аналіз успішності вирощування Спіруліни (*Spirulina platensis*) на підприємствах різного типу.

Практичне значення одержаних результатів: надано рекомендації приватним підприємцям для впровадження у виробничі процеси пов'язані із вирощуванням водорості Спіруліна (*Spirulina platensis*).

Основні положення що виносяться на захист: рекомендації з удосконалення технологічних процесів вирощування Спіруліни (*Spirulina platensis*) за різних виробничих умов.

Структура роботи. Кваліфікаційна робота складається із вступу, трьох розділів, висновків, практичних рекомендацій, списку використаних джерел. Робота викладена на 36 сторінках, містить 7 таблиць і 5 фотосвітлин. Список літератури становить 44 найменувань, з них 37 іноземні.

Ключові слова: альгакультура, харчова промисловість, водорості, спіруліна, аквакультура, харчові продукти, корми.

ABSTRACT

Goryan A.I. – Prospects for industrial algae cultivation. Qualification work in the form of a manuscript.

Qualification work for obtaining a master's degree in specialty 207 – Aquatic bioresources and aquaculture – Polesie National University, Zhytomyr, 2024.

The work provides an analysis of methods and technologies for growing *Spirulina platensis* by open and closed methods at private enterprises in Ukraine, a study of the use of various nutrient media for growing *Spirulina* by the open pool method was conducted.

Scientific novelty of the results obtained: for the first time, an analysis of the success of growing *Spirulina* (*Spirulina platensis*) at enterprises of various types was conducted.

Practical significance of the results obtained: recommendations are provided to private entrepreneurs for the introduction into production processes related to the cultivation of *Spirulina* (*Spirulina platensis*) algae.

The main provisions put forward for defense: recommendations for improving technological processes for growing *Spirulina* (*Spirulina platensis*) under different production conditions.

Structure of the work. The qualification work consists of an introduction, three sections, conclusions, practical recommendations, a list of sources used. The work is presented on 36 pages, contains 7 tables and 5 photographs. The list of references consists of 44 items, of which 37 are foreign.

Keywords: algal culture, food industry, algae, spirulina, aquaculture, food products, feed.

ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет лісового господарства та екології

Кафедра біоресурсів, аквакультури та природничих наук

Спеціальність 207 Водні біоресурси та аквакультура

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри біоресурсів, аквакультури та природничих наук
к.с.-г.н., доц. Світельський М.М.

(ПБ, підпис)

«__» _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу

_____ (прізвище, ім'я, по-батькові в родовому відмінку)

1. Тема кваліфікаційної роботи _____

затверджена наказом № _____ від «__» _____ 20__ р.

2. Термін подання роботи «__» _____ 20__ р.

3. Предмет дослідження _____

4. Об'єкт дослідження _____

5. Методика дослідження _____

6. Інформаційна база дослідження _____

7. Зміст кваліфікаційної роботи (перелік питань, що належать до розробки)

8. Перелік графічного матеріалу

Дата видачі завдання «__» _____ 20__ р.

Керівник роботи

_____ (науковий ступінь,

вчене звання)

_____ (підпис)

_____ (прізвище ,ім'я, по батькові)

Завдання прийняв

до виконання

_____ (підпис)

_____ (прізвище ,ім'я, по батькові)

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ I ОГЛЯД НАУКОВОЇ ЛІТЕРАТУРИ	6
1.1. Промислове значення альгакультури	6
1.2. Використання водоростей в галузях народного господарства	8
РОЗДІЛ II МЕТОДИКИ ТА ПРОГРАМА ДОСЛІДЖЕНЬ	12
2.1. Методики вирощування водоростей	12
2.2. Програма досліджень	16
РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	18
3.1. Технології індустріального вирощування водоростей	18
3.2. Перспективність індустріального вирощування водоростей в Україні	27
ВИСНОВКИ	30
РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ	31
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	32
ДОДАТКИ	36

ВСТУП

Використання водоростей як продуктів харчування широко розповсюджене у країнах що омиваються океанічними та морськими водами, водорості один із найпопулярніших продуктів у раціоні жителів Китаю, країн Індонезії, Південної Америки, Шотландії та Ірландії. Вирощування водоростей як сільськогосподарської культури розпочалось понад 300 років тому, науково-технічний прогрес дозволив перевести процеси вирощування водоростей з відкритих територій на закриті підприємства із замкненими циклами. Водночас існує нагальна потреба удосконалення технологічних процесів на підприємствах, саме тому вивчення питань індустріального виробництва водоростей є актуальним та перспективним.

Мета роботи — дослідити перспективи вирощування водоростей індустріальними методами на прикладі Спіруліни (*Spirulina platensis*).

Об'єкт дослідження — водорість спіруліна (*Spirulina platensis*) та перспективи її вирощування промисловими методами.

Предмет дослідження – технологічні процеси вирощування *Spirulina platensis* відкритим та закритим методами.

Методи дослідження: аналітичні, прогностичні методи використовувались короткотривалі та довготривалі, статистичні методи.

Наукова новизна одержаних результатів: вперше проведено аналіз успішності вирощування Спіруліни (*Spirulina platensis*) на підприємствах різного типу.

Практичне значення одержаних результатів: надано рекомендації приватним підприємцям для впровадження у виробничі процеси пов'язані із вирощуванням водорості Спіруліна (*Spirulina platensis*).

Апробація результатів досліджень: за темою магістерських досліджень було опубліковано 3 тези на науково-практичних конференціях:

1. Горян А.І.. Хвороби гідробіонтів в закритих просторах // Future of science: innovations and perspectives. Proceedings of the 1st International scientific and practical conference. SSPG Publish. Stockholm, Sweden. 2024. Pp. 25-28. URL: <https://sci-conf.com.ua/i-mizhnarodna-naukovo-praktichna->

2. Горян А.І. Декоративна аквакультура України. *Студ. наук.-практ. конф. «Технології. Наука. Практика»*: збірка наук праць. тези доп. 28.11.2024р., /Житомир –С. 24-28.

3. Горян А.І. Промислове значення альгакультури. *Студ. наук.-практ. конф. «Технології. Наука. Практика»*: збірка наук праць. тези доп. 28.11.2024р., /Житомир –С.

Основні положення що виносяться на захист: рекомендації з удосконалення технологічних процесів вирощування Спіруліни (*Spirulina platensis*) за різних виробничих умов.

Структура роботи. Кваліфікаційна робота складається із вступу, трьох розділів, висновків, практичних рекомендацій, списку використаних джерел. Робота викладена на 36 сторінках, містить 7 таблиць і 5 фотосвітлин. Список літератури становить 44 найменувань, з них 37 іноземні.

Ключові слова: альгакультура, харчова промисловість, водорості, спіруліна, аквакультура, харчові продукти, корми.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД НАУКОВОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Промислове значення альгакультури

Вирощування водоростей на промисловій основі для потреб харчової, фармацевтичної, сільськогосподарської галузей - альгакультура [1].

Промислове культивування водоростей розподіляється на вирощування мікроводоростей використовуються планктонні водорості (фітопланктон, мікрофіти) які легко піддаються культивуванню та вирощуються у великих масштабах, вирощування макроводоростей дещо складніше для вирощування в промислових масштабах, водночас вони мають ширший спектр використання та користуються вищим попитом.

Вирощування водоростей включає виробництво масел багатих на жирні кислоти та Омега-3 що важливо для гастрономічної та фармацевтичної галузей [1, 3], виробництво барвників для харчової промисловості та продуктів харчування, з водоростей виготовляють барвники для текстильної та будівельної промисловостей, все більшої популярності набувають органічні водоростеві добрива в сільському господарстві. Зокрема в лісовій галузі, адже результати використання водоростей як затримувачів вологи при вирощуванні деревних порід дають високі показники продуктивності насаджень. Вирощування водоростей для потреб тваринництва та аквакультури допомагає вирішувати питання забезпечення високоякісними кормами об'єкти цих галузей народного господарства, тому альгакультура відіграє значну роль в промисловості та в побуті Індонезії, країн Африки, Китаю, Індії, Північної та Південної Америк, Європи[6].

За останні 20 років обсяги вирощування водоростей на підприємствах зросло з тринадцяти млн. тонн на рік до тридцяти п'яти млн. тонн, такі показники було отримано шляхом розширення співпраці Китаю з Малазією та Філіпінами. Позитивні результати цієї співпраці відмічені в різних секторах світової економіки, використання в альгакультурі екологічних та безпечних технологій підвищує якість продукції та попит на неї на світових ринках.

Використання водоростей для харчової промисловості здавна поширене у Японії, Китаї, Індонезії [6, 10], пурпурові водорості (*Porphyra*) вирощуються не лише в промислових масштабах, цей вид зростає у невеликих приватних та домашніх господарствах багатьох жителів Азії та Англії. Жителі Японії та Китаю використовують їх для приготування традиційних страв Норі, а в Ірландії з пурпурових водоростей варять желе, джеми та ліки для хвороб опорно-рухової системи [6], Канадці традиційно використовують у стравах водорість Дульсьє як джерело рослинної клітковини. Великі фармацевтичні підприємства Північної Америки виробляють масла із мікроводоростей які поєднують з рибним жиром таким чином отримують препарати які позитивно впливають на когнітивні функції людського організму зокрема покращують активність роботи головного мозку та запобігають його старінню [11].

Найпопулярнішими мікроводоростями для промислових цілей є спіруліна, хлорелла, ірландський мох, морський салат, саргассо, алярія. Спируліна (*Arthrospira platensis*) аборигенний вид для океанічних узбережь Східної Африки та Мексики, ця водорість багата на білок, йод та інші макроелементи вирощування Спируліни спрямоване на отримання харчових добавок та виробництва білкових кормів [13, 22].

Хлорелла популярна мікроводоросль у країнах Сходу її використовують для регулювання процесів метаболізму при лікуванні порушень обміну речовин а також при авітамінозі вітамінів групи В [6,27].

Ірландський мох (*Chondrus crispus*) популярний продукт в кулінарії та фармацевтичній промисловостях оскільки містить велику кількість карраганіна та використовується як згущувач для виробництва желатинових оболонок ліків та різноманітних продуктів харчування (желе, холодець, цукерки).

Продуктом комплексу мікроводорослей *Gracilaria*, *Gelidium*, *Ahnfeltia* що вирощуються у Тихому океані, Чорному та Білому морях є суміш сульфатованих полісахаридів: агар-агар містить 70% вуглеводів, 25% білків, жири знаходяться по залишкам, в агарі міститься велика кількість іонів кальцію, азоту, сірки [11, 14]. Використовують агар-агар як середовище для

проведення мікробіологічних робіт переважно як тверде поживне середовище при вирощуванні лабораторних зразків бактерій, колоній грибів, патогенних мікроорганізмів, агар-агар широко використовується в кондитерській (морозиво, соки, зефіри, желе, мармелад) та м'ясопереробній (ковбаси, холодці, штучна рибна ікра) промисловостях.

Вирощування водоростей в альгакультурі має вагомим значення в світовій економіці, оскільки продукція цієї галузі широко використовується сучасним населенням планети.

1.2. Використання водоростей в галузях народного господарства

Водорості завдячуючи швидкому росту та високим показникам протікання фотосинтезу широко використовуються для індикації рівня забруднення водою [14,22]. Розроблено методики використання водоростей для зв'язування органічних збудників із побутових стоків з подальшим пресуванням осілих речовин з мікроводоростями в добривні брикети, при цьому використовують водорості у якості фотобіореакторів які фіксують як органічні так і неорганічні форми вуглецю, високий рівень виживання мікроводоростей в умовах високого рівня засоленості води, підвищеної кислотності дозволяє використовувати їх не лише для очищення побутових стоків, але і для промислових. Водночас вирощування водоростей для очищення побутових стоків не вимагає додаткових затрат, є екологічно безпечним та економічно вигідним [10, 16]. Отримані таким шляхом добрива підвищують рівень якості землеробства на 15-20% в регіонах з засушливим кліматом, водночас вони дозволяють культивуємиим сільськогосподарським культурам у повній мірі отримувати поживні речовини оскільки містять їх вільнодоступні форми та мають високий ступінь розкладання структури отриманих добрив.

Розробляються методики використання мікроводоростей у симбіозі з бактеріями для розкладання нафтових плям що утворюються в результаті викидів від нафтових танкерів, аварійних ситуацій, та при викиданні металобрухту до світового океану. Океанічний фітопланктон забезпечує понад 50% глобальної фотосинтетичної фіксації вільного CO₂.

Зворотній процес вивільнення вуглецю із водоростей відбувається швидше ніж із наземних рослин оскільки у них відсутня складна форма лігніну, тому вони підходять для тимчасового сховища вуглецю який можливо використовувати у якості біопалива[38, 41].

Вирощування водоростей для біопалива проводять в Тихоокеанському регіоні, де збираються ущільнені пласти водоростей вздовж берегової лінії, висушуються пластими з яких формуються брикети, таке вивільнення узбережь призводить до активізації процесів розростання водоростей, цикл відбору пластів океанічних водоростей можна повторювати кожні 3-4 роки без шкоди екосистемам Тихого океану [28, 39].

Широко використовують вирощування водоростей в регіоні мікроостровів Індонезії для пом'якшення наслідків змін клімату, так велика кількість кисню що продукується мікрowodоростями дозволяє понижати рівень температури у регіоні проведення досліджень на 1-2°C в день, на 2-3 °C вночі. Успішність процесу вирощування водоростей в Тихоокеанському регіоні полягає у швидкості потрапляння прямого сонячного світла та радіації до водного середовища та активного запуску обмінних процесів у водоростях, деякі з яких були описані вище як шляхи отримання біодобрих отримані результати було рекомендовано Всесвітнім фондом природи WWF для впровадження у інших регіонах Тихого та Індійського океанів [4, 31].

Вирощування водоростей на суходолі у озерах, каналах та ріках вимагає більших енергетичних та фінансових затрат, так при вирощуванні 1000 кг біомаси за добу використовується понад 100 м³ води, загалом вартість водоростей вирощених у континентальних водоймах перевищує вартість океанічних у 3-4 рази, також виробництва зосереджені на суходолі потребують додаткових заходів щодо створення високоякісної продукції, виникають додаткові статті витрат на запобігання розповсюдження бактеріальних та вірусних інфекції, так на фермі з вирощування водоростей у Австралії у 2018 році була зафіксована повна загибель продукції внаслідок ураження бактеріями, подібні випадки фіксують по всім країнам виробникам водоростей [34, 37].

Загальні витрати на вирощування водоростей на суходолі у Сполучених штатах Америки в 2020 році становили 5-7 центів за кілограм, в той же час водорості вирощені в шельфі океану вартували 1-2 центи за кілограм, без врахування затрат на збір, переробку та транспортування отриманої продукції на підприємствах що використовують відкриті водойми з гоночними терасами по яким використовується метод природнього переносу мас та енергії з місць з високим тиском до місць з низьким тиском, вони передбачені для вирощування біомаси із мікрководоростей у великих об'ємах та вирощування товарної продукції нахталт водорості Порфіра що використовується для приготування супів та загортання суші, водорості Хіджікі що є традиційною стравою Корейської та Китайської народної кухні [24], вирощування Ламінарії (морської капусти) широко розповсюджено у Канаді, Індонезії та Північних країнах Європи вона використовується для приготування страв багатих на Йод, Калцій, Магній, вона використовується як біологічно активна добавка.

Океанічні плантації із вирощування водоростей та відкриті водойми континентів також використовують для вирощування водоростей для виробництва високобілкових кормів для об'єктів аквакультури що вирощуються в промислових умовах.

До закритих систем культивування водоростей відносять установки розташовані на суходолі із замкненими циклами виробництва та контролем виробничого середовища, на таких підприємствах вирощується біомаса мікрководоростей для багатьох галузей народного господарства, технологічні процеси налаштовані отримання максимальної кількості продукції за мінімальні терміни протікання циклу вирощування водоростей.

Одним із перспективних напрямів вирощування водоростей на підприємствах є отримання біотоплива (біодизеля) [20] оскільки з одного гектара водоростей можна отримати до 200 літрів біодизеля що на 70% більше ніж з гектару сої або ріпаку, вартість такого біопалива нижча, також енергоємність біодизелю з водоростей вищий на 10-15 % ніж вироблений із рослинної сировини інших видів [28].

Висока рентабельність цього методу отримання біодизелю полягає у швидкому отриманні продукції для виготовлення палива – водорості виростають за 10-15 діб, після цього можливо проводити масовий збір урожаю та приступати до наступного технологічного циклу, аналогічний процес отримання біотоплива з ріпаку або сої триває 60-80 діб, в континентальних умовах повторення агротехнологічного циклу можливе 1-2 рази за вегетаційний цикл, саме тому виробництво біотоплива із водоростей є перспективним у порівнянні з іншими методами отримання біодизелю, на основі біодизелю отримують поліпластмаси, газ.

Висновки до розділу 1: водорості один із основних структурних елементів світової екосистеми, вони забезпечують зв'язування 50% атмосферного CO₂, виділяють кисень до атмосфери, є основним джерелом харчування для морських безхребетних та хребетних тварин. Водорості використовують людиною для різних цілей, свідоме вирощування водоростей розпочалось понад 370 років тому у Китаї з невеликих ферм розташованих на узбережжі Тихого океану у Жовтому та Південно-Китайському морях.

РОЗДІЛ 2 Методики та програма досліджень

2.1. Методики вирощування водоростей

Поширеними методиками вирощування водоростей вважаються:

1. Вирощування водоростей у шельфі океанів, морів відкритим способом;
2. Вирощування у каналах, траншеях, озерах, річках на суходолі відкритим способом;
3. Вирощування в закритих установках на підприємствах розташованих на суходолі.

Методи культивування на суходолі у закритих біореакторах є перспективними для континентальних країн.

Вирощування водоростей у закритих біореакторах знижує ймовірність загибелі продукції внаслідок впливу непередбачених факторів (посухи, буревії та інші стихійні явища природи), зараження продукції бактеріями та вірусами, для вирощування водоростей в біореакторах використовуються інтенсивні технології, водночас отримані таким чином водорості мають високу собівартість та використовуються для отримання цінної сировини для харчової промисловості та фармацевтичної промисловості, на основі їх розробляються ліки для боротьби з онкологічними, ендокринологічними хворобами [29]. Розроблені та введенні в експлуатацію біореактори для вирощування водоростей поділяються за системами вирощування на відкриті та закриті.

Закриті системи використовують три типи біореакторів:

- трубчастий вертикальний,
- трубчастий горизонтальний,
- плоский фотобіореактор.

Перевагами трубчастого вертикального фотобіореактора є велика горизонтальна площа світлових потоків, високий рівень виробництва біомаси та невеликі затрати на облаштування технологічної лінії у таких біореакторах вирощують штами водоростей *Haematococcus*, *Nannochloropsis*, *Chlorella* для отримання фарбників для текстильної і будівельної промисловостей.

Тривалість одного циклу отримання біомаси у реакторах трубчастого вертикального циклу складає 15-20 днів, за рік в таких установках проходить до 35 циклів вирощування водоростей [29, 34].

Закритий трубчастий горизонтальний фотобіореактор для вирощування водоростей дозволяє отримувати висококонцентровані субстанції водоростей та використовуються для виробництва великих партій біомаси для харчової промисловості, в таких установках вирощують продукт із концентрату водоростей *Gracilaria*, *Gelidium*, *Ahnfeltia* агар-агар, тривалість проходження одного циклу складає 10-15 діб, за рік в фотобіореакторі можливо провести 20-25 циклів, такі реактори за продуктивністю наближуються до продуктивності екосистем світового океану [29, 34].

Плоскі фотобіореактори мають низький рівень енергозатрат, найвищу пропускну здатність світла, вони використовуються на фармацевтичних виробництвах Америки для отримання сировини з високим вмістом ліпідів (рослинні Омега3), на їх основі виготовляють для косметичної промисловості масажні масла, мило та лосьйони [26].

Технологічні умови вирощування водоростей включають освітлення, рН, аерування, температуру, рівень солей [26, 36].

Інтенсивність освітлення повинна забезпечувати проникнення світлових променей на всю глибину біореактора, мінімальна освітленість становить 1000лк./м² для аератора глибиною 1 м, для аератора об'ємом 1 м³ інтенсивність освітлення складає від 1000 лк., при збільшенні площі та об'ємів аераторів збільшується відповідно у співвідношенні 1:1.

Рівень кислотності середовища в аераторах для водоростей коливається в межах рН 7-9 що відповідає природному лужному середовищу існування, оптимальними показниками є діапазон 8,2-8,7.

Перемішування та аерування використовується для запобігання осідання водоростей та поліпшення газообміну, здійснюється за допомогою насосів нагнітання води та лопатних колес.

Температурний режим вирощування для мікроводоростей становить

20-24 °С, для макроводостей 25-28 °С, при зниженні температури до 16°С всі процеси в аераторах призупиняються, при підвищенні температури до 35 °С настає відмирання хлорофілу та загибель водоростей в аераторах.

Солоність водного розчину в реакторах обирається дещо нижчою ніж в природних умовах росту водоростей, с середньому вміст солей у воді біореактора складає 20-24г/л., за необхідності рівень місту солей збільшується або зменшується за допомогою промивання установки. Для проведення вирощування водоростей застосовують морську воду з 1гр/л антибіотику бактопептону для стерилізації водного середовища [24, 30, 36].

Методи визначення динаміки росту водоростей в аераторах.

Виділяють 5 фаз росту культури водоростей в промислових установках:

- фаза індукції активного росту, що поділяється на короткі лаг-фази: точки контролю стану водного середовища та фотосинтетичної активності;
- експонціальна фаза збільшення маси водоростей за рухунок збільшення щільності клітин за одиницю часу, обраховується за формулою :

$$C_t = C_o * E^{mt}$$

де: C_t , C_o концентрація клітин в момент часу t та o відповідно, m швидкість росту (визначається для кожного виду водоростей окремо);

- фаза зниження темпів росту проявляється у зниженні активного поділу клітин за достатньої кількості освітлення, температури та інших чинників, характеризується збільшенням щільності та біологічної ваги водоростей;
- нерухома фаза проявляється у гіперконцентрації клітинної маси водоростей в установці, обмінні процеси в клітинах призупиняються, розпочинається стадія старіння, період збору водоростей із установки;
- фаза відмирання знижується якість водних показників, знижується вміст поживних речовин, настає неможливість протікання обмінних процесів, розпочинається відмирання клітин водоростей.

Стерилізацію біоустановок після відбору водоростей проводять методами УФ-опромінення, пастеризації (80°C впродовж 1-2 год), хлорування 0,5% розчином, автоклавірування (від 15 до 45 хв. при температурі 120°C), у випадках виявлення бактеріальних, грибкових інфекцій застосовують розчини, соляної кислоти, хлору та протигрибкові засоби (ністатін, клотримазол) і антибіотики (хлорамфенікол) після їх застосування проводять озонування біореакторів для нейтралізації залишків діючих речовин [37, 42].

Методи отримання та збереження водоростей. Відбір водоростей із установок проводиться методами: осадження, мембранного поділу, флокуляції, флоатації, центрифугування.

Осадження процес відділення водоростей від води шляхом спускання води із установки та ущільнення водоростей під власною вагою.

Мембранний поділ метод вміст біоустановки передбачає пропускання біомаси водоростей через фільтрувальну воронку, цей метод використовують переважно в лабораторних умовах для збору мікроводоростей у невеликих об'ємах.

Флокуляція метод згущування водоростей за допомогою хімічних флокулянтів: хлориду заліза або квасців, при використанні цього методу застосовують фільтруючі компресори.

Пінна флоатація до реактора під тиском нагнітають бульбашки повітря які зв'язуючись з мікроводоростями утворюють концентровану піну, метод дороговартісний та не використовується у промислових масштабах, переважно застосовується при проведенні досліджень впливу водоростей на навколишнє середовище.

Центрифугування – механічний спосіб використання сили тяжіння для формування концентрованих сумішей у вигляді концентрованого субстрату водоростей, використовуються низько швидкісні центрифуги (НШМЦ-11) які дозволяють зберігати цілісну структуру клітин та біомаси із максимальним віджимом рідини, швидкість обертів ротора складає 500- 2000 об/хв., центрифугування дозволяє проводити фракціонування отриманої культури

водоростей за рахунок розподілу у нижчих шарах концентрату важчих за біомасою водоростей, легші фракції при обертальних рухах підіймаються у вищі горизонти концентрату.

Методики очищення водоростей від забруднювачів. Отримана продукція проходить стадію очистки від крупних решток шляхом промивання, у разі виявлення участків з хворобами проводять утилізацію забрудненого (хворого) матеріалу, неушкоджену продукцію водоростей знезаражують від бактерій та забруднювачів, в якості стерилізаторів водоростей використовуються розчини кислот 0,1% розчин лимонної кислоти а також застосовується метод озонування. Отриману культуру водоростей розміщують у контейнера та транспортуються до цехів зберігання та переробки.

2.2. Програма досліджень

Вивчення питань перспективи індустріального вирощування водоростей полягало у визначення методів та способів отримання високоякісної продукції альгакультури із використанням екологічно орієнтованих методів виробництва з мінімальними економічними витратами для вирішення цих завдань передбачалось проведення робіт відповідно до мети роботи, об'єкту досліджень, предмету досліджень та завдань досліджень.

Завдання досліджень:

1. Надати широкий аналіз використання водоростей в сучасних галузях народного господарства на основі проведеного аналізу літературних джерел відповідно до визначеної теми досліджень;
2. Обрати методики проведення досліджень на основі проведеного аналізу існуючих методик проведення досліджень за обраною темою кваліфікаційної роботи.
3. Провести аналіз методів культивування водоростей Спіруліни на підприємстві, надати рекомендації з удосконалення проведення технологічних процесів.

4. Письмово викласти результати досліджень в пояснювальній записці, окреслити висновки, наукову новизну отриманих результатів, надати рекомендації виробництву.

Провести роботи згідно календарного плану у 2023 - 2024 роках у лабораторіях кафедри біоресурсів, аквакультури та природничих наук Поліського національного університету.

Висновки до розділу 2: в основі методик досліджень вирощування водоростей лежать загальноприйняті методи досліджень альгології. Вирощування водоростей промисловими масштабами проводиться двома шляхами: відкритим та закритим, методи проведення вирощування водоростей у закритих просторах побудовані на дотриманні технологічних процесів.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Технології індустріального вирощування водоростей

Згідно результатів досліджень успішність індустріального вирощування водоростей полягає у витриманні технологічних процесів на виробництвах, нами було вивчено ряд технологічних алгоритмів культивування мікороводоростей. Проведено порівняльну характеристику технологій вирощування Спіруліни (*Spirulina*) в установках різного типу для потреб фармацевтичної та сільськогосподарської промисловостей.

Спіруліна (*Spirulina*) одноклітинна синьо-зелена водорість (ціанобактерія) що концентрує вітаміни групи В, вітамін А, вітамін Е, ферменти поліози що відновлюють клітини після радіаційного ураження, сірчаноокислий цефалотин – антиген СНІДУ, сульфоліпіди активатори імунної системи, біодоступні форми заліза та йоду, є кормом для риб, цінною харчовою добавкою для сільськогосподарських тварин.

Останнє десятиріччя набуває популярності як біологічно активна добавка для людей, вважається що концентрат водоростей Спіруліни сприяє детоксикації організму, покращує процеси травлення шлунково-кишкового тракту, м'язову активність, допомагає боротися з утворенням ракових клітин, підвищує опірність організму до несприятливих умов довкілля, активізує роботу головного мозку.

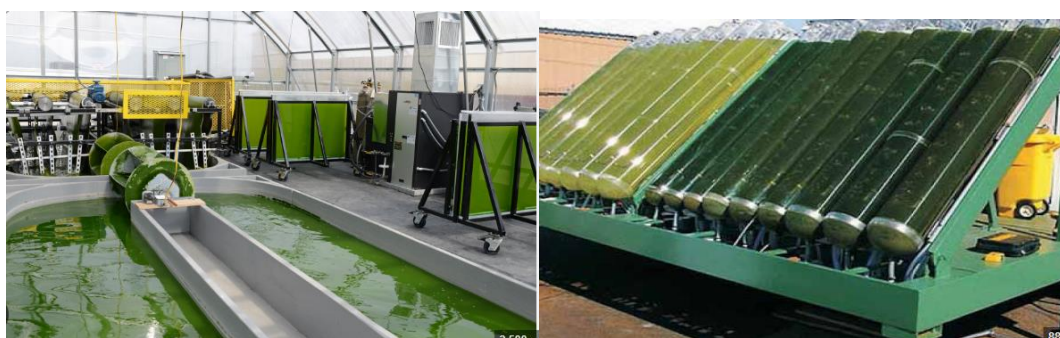
Відповідно до досліджень Всесвітньої організації охорони здоров'я препарати виготовлені із Спіруліни являються універсальними системними біопротекторами та біокоректорами, перспективність використання спірулін у лікувальних цілях підвищується за рахунок можливості їх комбінування з макро та мікроелементами, створювати препарати у різних фармакологічних формах та групах. Фармацевтична промисловість збільшує об'єми випуску препаратів зі спіруліною щорічно на 15%, також косметична промисловість використовує спіруліну для виготовлення гелей, шампунів, скрабів для тіла та інших косметичних засобів.

Сучасна систематика виділяє 54 види на виробництвах культивується 4 види спірулін які використовуються фармацевтичною промисловістю *Spirulina platensis* (Nordst.) (рис.3.1), *Geiti* (*Arthrospira platensis*) та сільськогосподарською промисловістю *S. Maxima* та *S. Tenuissima*.



Рис.3.1. Спіруліна *Spirulina platensis* (Nordst.)

Промислове вирощування Спіруліни проводять у плоских реакторах відкритого (вирощуються водорості для сільськогосподарських потреб) та плоских біореакторах закритого типів (вирощуються водорості для фармацевтичних потреб (рис 3.2).



А

Б

Рис.3.2. Установа відкритого типу (а), закритого типу (б) для вирощування Спіруліни

Порівняння технологій виробництва проводилось у 4 етапи в Приватному підприємстві «Невідь» розташоване у Татарбунарському районі Одеської області, господарство володіє 2-ма тепличними комплексами облаштованими для вирощування Спіруліни басейновим методом (рис.3.2), в кожній теплиці знаходиться по 10 басейнів, об'єм одного басейна складає 10м^3 , загальний об'єм басейнів в 1 тепличному комплексі складає 100м^3 , у двох тепличних комплексах цей показник становить 200м^3 ., для проведення досліджень нами враховувались технологічні показники та склад поживного середовища.

Нами було вивчено технологічні процеси вирощування Спіруліни у плоских реакторах відкритого типу, промислове призначення культивуємого продукту – корми для декоративних риб (рис.3.2). Облаштування басейнів для вирощування Спіруліни стандартних параметрів являє собою тепличний комплекс облаштований прямокутними басейнами, параметри басейнів стандартні 10 м.*1 м., з глибиною 1 м, загальний об'єм таких плоских реакторів складає 10м³, в тепличних комплексах облаштовуються системи штучного освітлення, перевага надається люмінісцентним лампам, терморегулятори які дозволяють підтримувати постійну температуру води у басейнах та аератори для забезпечення руху води, перемішування маси водоростей та забезпечення сталого рівня кисню в установках, показники води у басейнах можуть коливатись залежно від вимог до інтенсивності протікання процесів та технічних можливостей обладнання що використовується на виробництві, середні технічні умови для вирощування Спіруліни в басейнах відкритого типу представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1.

Технічні умови басейнів для вирощування Спіруліни *Spirulina platensis* (Nordst.)

Параметри	Допустимий діапазон	Оптимальні показники
Температура °С	16-27	18-24
Солі (гр/л)	12-40	20-24
Інтенсивність освітлення	1000-10000	2500-5000
Фотоперіод (год./доба)	24	16-20
pH	7-9	8,2-8,7

Зміна параметрів до мінімальних показників призводить до пригнічення обмінних процесів у водоростях, зменшується інтенсивність росту, розпочинаються процеси відмирання, за умови збільшення температури до 25°C, фотоперіоду до 24 год. та інтенсивності освітлення настає бурхлива активізація процесів росту водоростей, можливе загнивання та псування продукції, внаслідок настає часткова або повна втрата культури водоростей Спіруліни.

Вирощування спруліни у басейнах на підприємстві проводиться із використанням поживних середовищ (комплексних добрив), для проведення досліджень нами було обрано 2 типи поживних середовищ (табл. 3.2., табл. 3.3).

Таблиця 3.2.

Склад поживного середовища Уолона (дослід 1)

Речовина	Кількість (од./л.)
Розчин 1мл/1л культури водоростей Спіруліни	
Хлорид заліза (FeCl_3)	0.8 гр./л.
Хлорид марганцю ($\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	0.4 гр./л.
Борна кислота (H_3BO_3)	33,6 гр./л.
Гідроортофосфат ($\text{NaH}_2\text{PO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$)	20,0гр./л.
Нітрат натрію (NaNO_3)	100,гр./л
Розчин готується на дистильованій воді, нагрівається до 60 °С	

Поживне середовище Уолона використовувалось у теплиці №1 у 9 басейнах, 10-й басейн слугував за контроль (поживне середовище не вносилося), поживне середовище Лайона використовувалось у теплиці №2, в 9 басейнах застосовувалось поживне середовище, 10-басейн слугував за контроль (поживне середовище не вносилося).

Таблиця 3.3.

Склад поживного середовища Лайона (дослід 2)

Речовина	Кількість (од./л.)
Розчин 1мл/1л культури водоростей Спіруліни	
Хлорид цинку (ZnCl_2)	2.1 гр./л.
Хлорид кобальту ($\text{CoCl}_2, 6\text{H}_2\text{O}$)	2.0 гр./л.
Молибдат амонію($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}, 4\text{H}_2\text{O}$)	0.9 гр./л.
Сульфат купрум ($\text{CuSO}_4, 5\text{H}_2\text{O}$)	2.0 гр./л.
Концентрат HCl	10.0гр./л.
Розчин готується на дистильованій воді, нагрівається до розчинення солей	

Поживні розчини вносились до кожного басейну із розрахунк 1 л на 1м³ води, в басейни об'ємом 10м³ вносилося 10 літрів розчину відповідно. Після

внесення поживних розчинів до басейнів вносились жива культура водоростей Спіруліни у масі 0,5 кг на 1м³ води розподілялась рівномірно у дослідних басейнах, відповідно 5 кг. на 10 м³ , внесення Спіруліни проводилось 23 травня 2024 року коли середньодобова температура повітря назовні становила 19°C, в тепличному комплексі 22°C, дослід закладався в теплицях одночасно (рис.3.3).



Рис.3.3. Загальний вигляд теплиці №1 ПП «Невідь» (23.05.2024р.)

Вирощування Спіруліни в басейнах в середньому тривало 22-28 діб та закінчувалось нерухомою фазою, коли концентрація водоростей у басейнах досягала максимальних показників, перший врожай було зібрано у теплиці №2, дозрівання Спіруліни на поживному середовищі Лайона розпочалась на 22 добу, середня врожайність становила 23,4 кг/м³, у басейнах об'ємом 10 м³ цей показник коливався у межах 210-260 кг на загальну площу (табл. 3.4.). При порівнянні із загально відомими показниками урожайності Спіруліни на подібних підприємствах врожай складає 200-250 кг на 10м³ води, тобто отримані показники врожайності у теплиці №2 є стандартними.

Дозрівання Спіруліни у теплиці №1 наступив на 26 добу, на поживному середовищі Уолона показники врожайності Спіруліни були дещо нижчі і становили 19,5 кг/м³, у басейнах об'ємом 10 м³ показники врожайності коливались у межах 180-210 кг відповідно, у порівнянні зі стандартними показниками врожайність у теплиці 31 виявилась низькою, різниця продуктивності Спіруліни вирощеної на різних поживних середовищах в теплицях склала 23%, що є істотним для невеликих підприємств.

Врожайність у контрольному басейні без поживного середовища становили у теплиці №1 - 17кг/м³, та у теплиці №2 - 18 кг/м³ відповідно.

Таблиця 3.4.

Врожайність Спіруліни у басейнах ПП «Невідь», червень 2024р.

Врожайність Спіруліни, кг/м ³		
П/П	Теплиця№1	Теплиця№2
Басейн №1	18	23
Басейн №2	22	26
Басейн №3	18	22
Басейн №4	19	24
Басейн №5	21	26
Басейн №6	20	21
Басейн №7	18	25
Басейн №8	18	22
Басейн №9	21	22
Басейн (контроль)	17	18

На нашу думку такі вищий врожай Спіруліни на подивному середовищі Лайона був більшим завдячуючи вищій лужності.

При збиранні першого врожаю захворювань та ушкоджень Спіруліни у тепличних комплексах не виявлено, домішок інших видів водоростей не виявлено, отримана продукція мала відповідний яскраво-зелений колір, пружну структуру. Якість отриманого продукту відповідало стандартам що висуваються до Спіруліни для виготовлення кормів для риб.

Після збору врожаю, дезінфекції басейнів 28 червня 2024 року було проведено другий етап експерименту, до басейнів вносились культура водоростей 0,5кг на 1м³, 5 кг на 10м³.

Поживне середовище створювалось як при проведенні першого етапу експерименту, змінними були показники температури зовнішнього середовища що піднялися на 4°C, відповідно 23°C, зовні та 26°C в середині теплиць, для

запобігання перегрівання теплиць проводили заходи затінення та провітрювання.

Дозрівання Спіруліни у басейнах почалось одночасно у обох теплицях на 22 день проведення експерименту, врожайність водоростей у першій теплиці становила 22,3кг/м³ що на 8% більше ніж при проведенні першого етапу досліджень, а у теплиці №2 цей показник сягав 26,2кг/м³ що на 11% більше ніж при закладанні першого етапу експерименту, загалом така тенденція пояснюється продовженням природного фотоперіоду доби та вищою температурою середовища.

Таблиця 3.5.

Врожайність Спіруліни у басейнах ПП «Невідь», липень 2024р.

Врожайність Спіруліни, кг/м ³		
П/П	Теплиця№1	Теплиця№2
Басейн №1	22	26,2
Басейн №2	26	29
Басейн №3	21	24
Басейн №4	25	24
Басейн №5	25	30
Басейн №6	24	27
Басейн №7	21	28
Басейн №8	21	27
Басейн №9	23	27
Басейн (контроль)	20	24

Зберіглись загальні тенденції наростання Спіруліни в басейнах так і при першому етапі і при другому найбільший приріст маси у теплиці №1 спостерігався в басейнах № 5, 6, 9, у теплиці №2 була присутня подібна ситуація у басейнах № 2,5,7, найвищою врожайність виявилась у басейні №5 (26 кг /м³ при першому етапі досліджень та 30 кг/м³ при другому етапі досліджень відповідно), показники у контролі становили 20кг/м³ у теплиці №1, та 24кг/м³

у теплиці №2 відповідно. Врожай Спіруліни був викоякісний, водорості достигли, продукція відповідала вимогам, ознаки хвороб відсутні.

Закладання третього етапу експерименту проводили 31 липня 2024 року схема та умови проведення експерименту аналогічні попереднім 2 етапам. Збір врожаю на 3-му етапі експерименту проводився на 22 день, тобто термін дозрівання 3-ї хвилі водоростей співпав з 2-м етапом експерименту.

Таблиця 3.6.

Врожайність Спіруліни у басейнах ПП «Невідь», серпень 2024р.

Врожайність Спіруліни, кг/м ³		
П/П	Теплиця№1	Теплиця№2
Басейн №1	21	26,2
Басейн №2	2	29
Басейн №3	21	25
Басейн №4	24	25
Басейн №5	22	30
Басейн №6	23	28
Басейн №7	21	28
Басейн №8	21	27
Басейн №9	22	27
Басейн (контроль)	21	25

Зберіглись загальні тенденції накопичення маси Спіруліни в басейнах теплиць середня врожайність у басейнах теплиці №1 становила 21,9 кг/м³, у басейнах теплиці №2 - 26,7кг/м³ що не становить істотної різниці у порівнянні з накопиченням маси при проведенні 2-го етапу експерименту, також у басейнах зберігалась тенденція до накопичення більшої біомаси у басейнах в басейнах № 5, 6, 9 теплиці №1 та басейнах № 2,5,7 у теплиці №2 (табл.3.6). Продукція отримана на 3-му етапі проведення експерименту відповідала вимогам, водорості спруліни повністю дозріли, мали насичений зелений колір, пружну структуру, відповідно солодкувато-пряний запах.

Заключний 4-й етап проведення досліджень відбувався наприкінці серпня 2024 року, дослід закладався 28 серпня 2024 року., метою 4-го етапу було визначення рівня інтенсивності накопичення маси Спіруліни у період спаду активних температур та зменшення природного фотоперіоду, умови, поживне середовище, кількість культури Спіруліни що вводилась до басейнів ідентичні параметрам попередніх 3-х етапів.

Таблиця 3.7.

Врожайність Спіруліни у басейнах ПП «Невідь», вересень 2024р.

Врожайність Спіруліни, кг/м ³		
П/П	Теплиця№1	Теплиця№2
Басейн №1		17
Басейн №2		
Басейн №3		
Басейн №4		
Басейн №5		
Басейн №6		
Басейн №7		
Басейн №8		
Басейн №9		
Басейн (контроль)	16	17

Дозрівання Спіруліни на 4-му етапі припало на 26 добу, тобто період дозрівання подовжився на 4 доби, водночас значно знизилась маса отриманого продукту, так у теплиці №1 середня маса Спіруліни становила 16,2 кг/м³, а у теплиці №2 17,4 кг/м³ відповідно (табл.3.7), різницю можливо вважати істотною, показник зниження врожайності 27% для теплиці№1, та 32% для теплиці №2. Стосовно тенденцій накопичення маси у басейнах закономірності що спостерігались на 3-х попередніх етапах не зберіглись. Врожай Спіруліни був задовільний, відповідав вимогам, домішок інших рослин, та хвороб не виявлено.

Отримана продукція Спіруліни заморозувалась та відправлялась на експорт підприємства із виготовлення кормів для риб до Румунії. Аналіз результатів досліджень викладено в загальних висновках та у висновках до розділу.

3.2. Перспективність індустріального вирощування водоростей в Україні

Розвиток вирощування водоростей в Україні переважно спрямований на вирощування Спіруліни для фармацевтичної та сільськогосподарської галузей на невеликих приватних підприємствах, вирощується така продукція на підприємстві «Спіруліна+» у місті Харків, на цьому підприємстві технологічний процес побудований за закритим типом, вирощування продукції проводиться в установках плоского типу, річний обсяг продукції сягає 15 тонн вони є основним поставником Спіруліни для фармацевтичних підприємств України, продукція проходить етапи очистки, висушування, потдрібнення та пресування до таблетованої або порошкоподібної консистенції, після чого фасується та потрапляє до мереж роздрібної торгівлі..



Рис. 3. 4. Продукція підприємства «Фуд факторі» «Spirulinka»

Іншим відомим виробником Спіруліни компанія «Фуд факторі» (рис.3.4) підприємство використовує закриті установки із УЗВ (установки закритого водокористування) продукція вирощується в трубчастих горизонтальних біореакторах, для успішного протікання процесів застосовується жорстке контролювання параметрів середовища: лужність середовища, вміст заліза, магнію та калію.

Продукція підприємства «Фуд факторі» поставляється також на підприємства фармацевтичної промисловості для виготовлення біологічно активних добавок, особливістю технологічного процесу на цьому підприємстві є високий рівень логістики із Харківською фармацевтичною компанією, вся продукція після збору піддається швидкій шокуючій заморозці задля зберігання корисних властивостей Спіруліни, адже вироблена в стерильних умовах продукція живе – 15-20 хв. після чого втрачає свої корисні властивості до 60%, тому продукція фасується в день збору та зберігається при температурі -5°C, споживається у розмороженому вигляді. Реалізація Спіруліни відчизняного виробництва на ринках України переважає над показниками реалізації продукції закордонного виробництва, відтак попит стимулює розширення виробництв з вирощування Спіруліни.

Вирощування Спіруліни для сільськогосподарських цілей в Україні забезпечується приватними підприємствами зосередженими переважно у Південних областях, продукція на таких підприємствах вирощується у басейнах закритих тепличних комплексів, отримання Спіруліни без додаткових енергетичних витрат таким методом можливе впродовж теплого періоду року, врожай на таких підприємствах отримують до 5 раз за календарний рік. Водночас якість продукції може бути низькою за рахунок порушення технологій у відкритих системах, попит на продукцію вирощену таким чином зосереджений переважно в аквакультурі де водорості використовуються в якості кормів для риби.



У концепції REALM системи доріжок будуються поруч із теплицями. У цих відкритих водоймах можна економно вирощувати мікродорості. Фото Biorizon Biotech.

Рис.3.5. Басейни для вирощування водоростей у шельфі Чорного моря (Horizon Europe)

На сьогодні продовольча ніша з виробництва кормів такого роду в Україні вільна тому що загалом нараховується 14 приватних підприємств що займаються діяльністю з виробництва водоростевих кормів, у 2024 році Україна отримала гранд для розробки системи вирощування водоростей у шельфі Чорного моря в рамках проекту Релм що фінансується Horizon Europe, проект буде реалізовано у Одеській області. Індустріальне вирощування водоростей в Україні перспективний напрям розвитку економіки який дозволяє українським виробникам виходити на міжнародні ринки.

Висновки до розділу 3: в умовах півдня України можливо збирати 4 врожаї Спіруліни за вегетаційний період в баксейнових установках відкритого типу, в установках закритого типу водоростеву продукцію збирають до 15 раз за календарний рік. Промислове вирощування водоростей новий напрям господарчої діяльності для України яка розвивається останні 15 років, на сьогодні це один із найперспективніших напрямків аквакультури.

ВИСНОВКИ

1. Сучасні технології вирощування водоростей розповсюдились у Австралії, країнах Азії, Африки, Європи, островах Океанії, Південній та Північній Америці. Вирощування водоростей на науково обґрунтованій основі один із найперспективніших напрямків сучасної альгакультури, продукція отримана із водоростей використовується у тваринництві, аквакультурі, лісовому господарстві, а також у харчовій, фармацевтичній, будівельній промисловостях. Культивування водоростей у симбіозі з бактеріями дозволяє використовувати їх для біорозкладання нафтових п'ятен в морях та океані, застосовувати їх для регулювання екологічних параметрів середовища.
2. Виробництво Спіруліни в Україні розвивається останні 15 років. Вирощування водоростей промисловими масштабами проводиться двома шляхами: відкритим та закритим, методи проведення вирощування водоростей у закритих просторах побудовані на дотриманні технологічних процесів.
3. Дослідження вирощування Спіруліни в умовах ПП «Невідь» Одеської області в 2024 році за басейновою технологією із використанням поживних середовищ Уолона і Лайона виявило що терміни дозрівання водоростей Спіруліни на поживному середовищі Лайона відбувається швидше в середньому на 2-3 дні, що дозволяє отримувати врожай 4-5 раз на рік.
4. Максимальна врожайність Спіруліни при вирощуванні в басейнах припадає на червень-серпень, коли середньодобова температура зовнішнього середовища перевищує 22°C, показники найвищої врожайності зафіксовано у липні та серпні 2024 року. Врожайність Спіруліни у липні становила 22,3кг/м³ у тепличному комплексі №1, та 26,2 кг/м³ у тепличному комплексі №2, у серпні середня врожайність Спіруліни складала 21,9кг/м³ у тепличному комплексі №1, та 26,7 кг/м³ у тепличному комплексі №2 відповідно.
5. Мінімальні показники врожайності Спіруліни було виявлено у вересні 2024 року 16,2 кг/м³ у тепличному комплексі №1 та 17,4 кг/м³ у тепличному комплексі №2 відповідно, спад продуктивності пов'язаний з зниженням середньодобової температури та зменшенням добового активного фотоперіоду.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

Споживчі потреби продукції виготовленої із Спіруліни перевищують сучасні обсяги вітчизняного виробництва цієї продукції, частково це пов'язано із тим що Українські підприємства експортують свою продукцію до країн Західної Європи, тому рекомендуємо спрямувати виробництво перспективних видів водоростей, Спіруліни зокрема, для задоволення потреб внутрішнього ринку.

Приватним підприємствам що працюють за технологією відкритих басейнів в умовах Півдня України використовувати для створення оптимальних умов вирощування Спіруліни поживне середовище Лайона що підвищує врожайність на 15-20%, підвищує якість аквакультурної продукції водоростей.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Горян А.І. Промислове значення альгакультури *Студ. наук.-практ. конф. «Технології. Наука. Практика»*: збірка наук праць. тези доп. 28.11.2024р., /Житомир –С. 104-105
2. Lane, Katie; Derbyshire, Emma; Li, Weili; Brennan, Charles (January 2014). "Bioavailability and Potential Uses of Vegetarian Sources of Omega-3 Fatty Acids: A Review of the Literature". *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 54 (5): 572–579. doi:10.1080/10408398.2011.596292. PMID 24261532. S2CID 30307483.
3. Winwood, R.J. (2013). "Algal oil as a source of omega-3 fatty acids". *Food Enrichment with Omega-3 Fatty Acids*. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. pp. 389–404. doi:10.1533/9780857098863.4.389. ISBN 978-0-85709-428-5.
4. Lenihan-Geels, Georgia; Bishop, Karen; Ferguson, Lynnette (18 April 2013). "Alternative Sources of Omega-3 Fats: Can We Find a Sustainable Substitute for Fish?". *Nutrients*. 5 (4): 1301–1315. doi:10.3390/nu5041301. PMC 3705349. PMID 23598439.
5. Venkatesh, G. (1 March 2022). "Circular Bio-economy—Paradigm for the Future: Systematic Review of Scientific Journal Publications from 2015 to 2021". *Circular Economy and Sustainability*. 2 (1): 231–279. Bibcode:2022CirES...2..231V. doi:10.1007/s43615-021-00084-3. ISSN 2730-5988. S2CID 238768104.
6. Diaz, Crisandra J.; Douglas, Kai J.; Kang, Kalisa; Kolarik, Ashlynn L.; Malinovski, Rodeon; Torres-Tiji, Yasin; Molino, João V.; Badary, Amr; Mayfield, Stephen P. (2023). "The State of World Fisheries and Aquaculture 2024. FAO. 2024-06-07. doi:10.4060/cd0683en. ISBN 978-92-5-138763-4.
7. In brief, *The State of World Fisheries and Aquaculture, 2018* (PDF). FAO. 2018.
8. Verdelho Vieira, Vítor; Cadoret, Jean-Paul; Acien, F. Gabriel; Benemann, John (January 2022). "Clarification of Most Relevant Concepts Related to the Microalgae Production Sector". *Processes*. 10 (1): 175. doi:10.3390/pr10010175. hdl:10835/13146. ISSN 2227-9717.

9. Greene, Charles; Scott-Buechler, Celina; Hausner, Arjun; Johnson, Zackary; Lei, Xin Gen; Huntley, Mark (2022). "Transforming the Future of Marine Aquaculture: A Circular Economy Approach". *Oceanography*: 26–34. doi:10.5670/oceanog.2022.213. ISSN 1042-8275.
10. News article about the study: "Nutrient-rich algae could help meet global food demand: Cornell researchers". CTVNews. 20 October 2022. Retrieved 17 November 2022.
11. "Microbial Protein: a promising and sustainable food and feed ingredient – North-CCU-hub". Retrieved 1 July 2022.
12. Mumford, T.F. and Miura, A. 4. Porphyra as food: cultivation and economics. in Lembi, C.A. and Waaland, J.R. 1988. *Algae and Human Affairs*. Cambridge University Press, Cambridge. ISBN 0-521-32115-8
13. "Transgenic Plants Produce Omega-3 and Omega-6 Fatty Acids" (PDF). School of Biology and Biochemistry, University of Bath, England, UK. Archived (PDF) from the original on 28 August 2006. Retrieved 2006-08-29.
14. Arterburn, Linda M.; Oken, Harry A.; Bailey Hall, Eileen; Hamersley, Jacqueline; Kuratko, Connye N.; Hoffman, James P. (1 July 2008). "Algal-Oil Capsules and Cooked Salmon: Nutritionally Equivalent Sources of Docosahexaenoic Acid". *Journal of the American Dietetic Association*. 108 (7): 1204–1209. doi:10.1016/j.jada.2008.04.020. ISSN 0002-8223. PMID 18589030.
15. Ryan, Lisa; Symington, Amy M. (1 December 2015). "Algal-oil supplements are a viable alternative to fish-oil supplements in terms of docosahexaenoic acid (22:6n-3; DHA)". *Journal of Functional Foods*. 19: 852–858. doi:10.1016/j.jff.2014.06.023. ISSN 1756-4646.
16. "Aphanizomenon Flos-Aquae Blue Green Algae". Energy For Life Wellness Center. Archived from the original on 2006-04-26. Retrieved 2006-08-29.
17. "Nutritional value of micro-algae". United States Fisheries Department. Archived from the original on 26 August 2006. Retrieved 2006-08-29.
18. "Chlorella Growth Factor". Naturalways.com. Retrieved 29 January 2022.

19. "Sensory properties of strawberry- and vanilla-flavored ice cream supplemented with an algae oil emulsion". Dept. of Food Science, Pennsylvania State University. Archived from the original on 2007-05-06. Retrieved 2006-08-29.
20. Chapman, V.J.; Chapman, D.J. (1980). *Seaweeds and their Uses*. London: Chapman and Hall Ltd. doi:10.1007/978-94-009-5806-7. ISBN 978-94-009-5808-1.
21. Guiry, M.D.; Blunden, G. (1991). *Seaweed Resources in Europe: Uses and Potential*. John Wiley and Sons. ISBN 978-0-471-92947-5.
22. Leckie, Evelyn (14 Jan 2021). "Adelaide scientists turn marine microalgae into 'superfoods' to substitute animal proteins". ABC News. Australian Broadcasting Corporation. Retrieved 17 Jan 2021.
23. "A Review on Culture, Production and Use of Spirulina as Food for Humans and Feeds for Domestic Animals and Fish" (PDF). Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2008.
24. Mumford, T.F.; Miura, A (1988). "Porphyra as food: cultivation and economics". In Lembi, C.A.; Waaland, J.R. (eds.). *Algae and Human Affairs*. pp. 87–117.
25. McKenna, Phil (7 October 2006). "From smokestack to gas tank". *New Scientist*. 192 (2572): 28–29. doi:10.1016/S0262-4079(06)60667-2. 1233.
26. Ou, Longwen; Banerjee, Sudhanya; Xu, Hui; Coleman, André M.; Cai, Hao; Lee, Uisung; Wigmosta, Mark S.; Hawkins, Troy R. (25 October 2021). "Utilizing high-purity carbon dioxide sources for algae cultivation and biofuel production in the United States: Opportunities and challenges". *Journal of Cleaner Production*. 321: 128779. doi:10.1016/j.jclepro.2021.128779. ISSN 0959-6526. S2CID 238739590.
27. "Brilliant Planet is running algae farms to pull carbon out of the air". TechCrunch. Retrieved 12 June 2022.
28. Moreira, Diana; Pires, José C.M. (September 2016). "Atmospheric CO2 capture by algae: Negative carbon dioxide emission path". *Bioresource Technology*. 215: 371–379. doi:10.1016/j.biortech.2016.03.060. PMID 27005790.
29. "Research creates hydrogen-producing living droplets, paving way for alternative future energy source". phys.org. Archived from the original on 16 December 2020. Retrieved 9 December 2020.

30. Xu, Zhijun; Wang, Shengliang; Zhao, Chunyu; Li, Shangsong; Liu, Xiaoman; Wang, Lei; Li, Mei; Huang, Xin; Mann, Stephen (25 November 2020). "Photosynthetic hydrogen production by droplet-based microbial micro-reactors under aerobic conditions". *Nature Communications*. 11 (1): 5985. Bibcode:2020NatCo..11.5985X. doi:10.1038/s41467-020-19823-5. ISSN 2041-1723. PMC 7689460. PMID 33239636.
31. Talaei, Maryam; Mahdavinejad, Mohammadjavad; Azari, Rahman (1 March 2020). "Thermal and energy performance of algae bioreactive façades: A review". *Journal of Building Engineering*. 28: 101011. doi:10.1016/j.jobbe.2019.101011. ISSN 2352-7102. S2CID 210245691.
32. Wilkinson, Sara; Stoller, Paul; Ralph, Peter; Hamdorf, Brenton; Catana, Laila Navarro; Kuzava, Gabriela Santana (1 January 2017). "Exploring the Feasibility of Algae Building Technology in NSW". *Procedia Engineering*. 180: 1121–1130. doi:10.1016/j.proeng.2017.04.272. ISSN 1877-7058.
33. Nazareth, Aaron (2018). "Bionic architecture". Research Project. Unitec Institute of Technology: 1–69.
34. Proksch, Gundula (2012). "Growing Sustainability - Integrating Algae Cultivation into the Built Environment". *Edinburgh Architecture Research EAR*. 33.
35. Talaei, Maryam; Mahdavinejad, Mohammadjavad; Azari, Rahman; Haghghi, Hadi Motevali; Atashdast, Ali (1 August 2022). "Thermal and energy performance of a user-responsive microalgae bioreactive façade for climate adaptability". *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 52: 101894. Bibcode:2022SETA...5201894T. doi:10.1016/j.seta.2021.101894. ISSN 2213-1388. S2CID 246353563.
36. "Algae biopanel windows make power, oxygen and biomass, and suck up CO₂". *New Atlas*. 11 July 2022. Retrieved 21 August 2022.
37. Paleja, Ameya (13 July 2022). "Algae-filled panels could generate oxygen and electricity while absorbing CO₂". *interestingengineering.com*. Retrieved 21 August 2022.
38. Ortega, Alejandra; "Important contribution of macroalgae to oceanic carbon sequestration". *Nature Geoscience*. 12 (9): 748–754. Bibcode:2019NatGe..12..748O. doi:10.1038/s41561-019-0421-8.. Retrieved July 18, 2020.

39. Temple, James (2021-09-19). "Companies hoping to grow carbon-sucking kelp may be rushing ahead of the science". MIT Technology Review. Archived from the original on September 19, 2021. Retrieved 2021-11-25.
40. Flannery, Tim (November 20, 2015). "Climate crisis: seaweed, coffee and cement could save the planet". The Guardian. Archived from the original on November 24, 2015. Retrieved November 25, 2015.
41. Vanegasa, C. H.; Bartletta, J. (February 11, 2013). "Green energy from marine algae: biogas production and composition from the anaerobic digestion of Irish seaweed species". *Environmental Technology*. 34 (15): 2277–2283. Bibcode:2013EnvTe..34.2277V. doi:10.1080/09593330.2013.765922. PMID 24350482. S2CID 30863033.
42. Chung, I. K.; Beardall, J.; Mehta, S.; Sahoo, D.; Stojkovic, S. (2011). "Using marine macroalgae for carbon sequestration: a critical appraisal". *Journal of Applied Phycology*. 23 (5): 877–886. Bibcode:2011JAPco..23..877C. doi:10.1007/s10811-010-9604-9. S2CID 45039472.
43. Duarte, Carlos M.; Wu, Jiaping; Xiao, Xi; Bruhn, Annette; Krause-Jensen, Dorte (2017). "Can Seaweed Farming Play a Role in Climate Change Mitigation and Adaptation?". *Frontiers in Marine Science*. 4: 100. doi:10.3389/fmars.2017.00100. ISSN 2296-7745.
44. Behrenfeld, Michael J. (2014). "Climate-mediated dance of the plankton". *Nature Climate Change*. 4 (10): 880–887. Bibcode:2014NatCC...4..880B. doi:10.1038/nclimate2349.

ДОДАТКИ