

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені В. Н. КАРАЗІНА

БІОТЕХНОЛОГІЯ МІКРОВОДОРСТЕЙ

Методичні рекомендації
для студентів спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія»

Харків – 2024

Рецензенти:

Ю. Є. Колупаєв – д. б. н., професор кафедри захисту рослин Полтавського державного аграрного університету;

О. І. Віннікова – к. б. н., доцент кафедри фізіології і біохімії рослин та мікроорганізмів біологічного факультету Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна.

*Затверджено до друку рішенням Науково-методичної ради
Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна
(протокол № 7 від 16 квітня 2024 року)*

Б 63 **Біотехнологія** мікрободоростей : методичні рекомендації для спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія» / уклад. А. В. Голтвянський. – Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2024. – 28 с.

Методичні рекомендації для студентів біологічного факультету спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія» містять рекомендації щодо вивчення дисципліни. Рекомендації складено відповідно до програми дисципліни «Біотехнологія мікрободоростей», яка викладається студентам 3 курсу спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія» біологічного факультету Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна.

УДК 60:582.261/.279](072)Г 61

© Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, 2024

© Голтвянський А. В., уклад., 2024

© Дончик І. М., макет обкладинки, 2024

ЗМІСТ

Вступ	4
Мета та завдання навчальної дисципліни	5
Опис навчальної дисципліни.....	6
Зміст навчальної дисципліни	7
Структура навчальної дисципліни.....	18
Практичні заняття	19
Самостійна робота.....	19
Методи навчання.....	19
Методи контролю.....	19
Перелік питань до семестрового екзамену	21
Схема нарахування балів.....	22
Рекомендована література.....	24

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «Біотехнологія мікроводоростей» складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки першого (бакалаврського) рівня спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія».

Предметом вивчення навчальної дисципліни є мікроводорості та біологічно активні сполуки, які вони синтезують з метою їхнього використання в різних галузях біотехнології.

МЕТА ТА ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Метою викладання навчальної дисципліни «Біотехнологія мікроводоростей» є ознайомити студентів з сучасними літературними відомостями із проблем масового культивування й використання мікроводоростей і ціанобактерій. Дати характеристику біологічної цінності, економічної рентабельності культивування й можливих галузей застосування найбільш важливих у комерційному відношенні видів.

Основними завданнями вивчення дисципліни «Біотехнологія мікроводоростей» є надання теоретичних знань щодо будови, розмноження та здатності синтезувати біологічно активні речовини; ознайомлення з методами культивування, способами регуляції їх росту та складу біомаси, зокрема принципами отримання цільових продуктів та речовин; ознайомлення з сучасною літературою щодо використання мікроводоростей в різних галузях промисловості та медицини.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми сформувати у студентів такі компетентності:

- ЗК1. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
- ЗК 7. Прагнення до збереження навколишнього середовища.
- ФК4. Здатність працювати з біологічними агентами, що використовуються у біотехнологічних процесах (мікроорганізми, гриби, рослини, тварини, віруси, окремі їхні компоненти).
- ФК6. Здатність проводити аналіз сировини, матеріалів, напівпродуктів, цільових продуктів біотехнологічного виробництва.
- ФК7. Врахування комерційного та економічного контексту під час проектування виробництв біотехнологічних продуктів різного призначення (промислового, харчового, фармацевтичного, сільсько- господарського тощо).
- ФК11. Здатність складати апаратурні схеми виробництв біотехнологічних продуктів різного призначення.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні досягти таких результатів навчання:

- ПРН7. Вміти застосовувати знання складу та структури клітин різних біологічних агентів для визначення оптимальних умов культивування та потенціалу використання досліджуваних клітин у біотехнології.
- ПР 9. Вміти складати базові поживні середовища для вирощування різних біологічних агентів. Оцінювати особливості росту біологічних агентів на середовищах різного складу.
- ПР10. Вміти проводити експериментальні дослідження з метою визначення впливу фізико-хімічних та біологічних факторів зовнішнього середовища на життєдіяльність клітин живих організмів.

Студенти повинні:

а) знати основи будови, біохімічного складу, способи та режими культивування, сучасні методи виділення компонентів клітин, знати можливості практичного використання отриманих сполук та особливості організації виробництв біотехнологічних продуктів різного призначення;

б) вміти оцінювати ефективність систем культивування та можливості використання їх у біотехнологічному виробництві;

в) володіти навичками:

– визначати пріоритетні напрямки використання біологічних агентів з мікроводоростей;

– аналізувати й оцінювати ризики використання тих чи інших сполук мікроводоростей для отримання певних продуктів;

– розробляти схеми щодо культивування та щодо виділення певних органічних сполук для отримання необхідних продуктів.

ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Кількість кредитів – 4.

Загальна кількість годин – 120.

Характеристика навчальної дисципліни	
За вибором	
Денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки	
3-й	3-й
Семестр	
5-й	5-й
Лекції	
32 год.	8 год.
Практичні, семінарські заняття	
32 год.	8 год.
Лабораторні заняття	
0 год	0 год.
Самостійна робота	
56 год.	104 год.
Індивідуальні завдання	
0 год.	

ЗМІСТ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

РОЗДІЛ 1

Мікрводорості як об'єкт біотехнології. Сучасний стан та наукові дослідження в галузі біотехнології мікрводоростей

Тема 1. Водорості в системі органічного світу

Народження альгології. Розвиток альгології у ХІХ сторіччі, формування альгологічної школи Харківського університету. Основні напрямки розвитку альгології у ХХ сторіччі. Походження еукаріотичної клітини, теорія братів Баум. Водорості у системі органічного світу К. Ліннея, Р. Уайттейкера, Л. Маргуліс, Т. Кавальє-Сміта. Система трьох доменів К. Воуза, принцип парсимонії В. Хенніга та нейтральна теорія молекулярної еволюції М. Кімури. Сучасна філогенетична система Сайні Едла і Фаб'єна Буркі.

На лекції розглядаються переваги та відмінності між водоростями та іншими об'єктами біотехнології. Різноманітність продуктів водоростевого походження. Узагальнюються знання щодо формування напрямків альгологічних (фікологічних) досліджень. Наводяться етапи становлення водоростей в системі органічного світу. Розглядаються еволюційні аспекти появи водоростей та еукаріотичної клітини.

Питання для самоконтролю:

1. Історичні передумови виникнення альгології.
2. Альгологічна школа Харківського університету.
3. Особливості сучасної класифікації водоростей.
4. Гіпотези походження еукаріотичної клітини.
5. Напрямки досліджень та галузі застосування водоростей.
6. Проблеми розвитку біотехнології водоростей.
7. Основні продукти з водоростей: лікарські препарати, харчові домішки, косметика, харчові продукти, їжа для риби і худоби, барвники, лаки, фарби, пластмаси, папір, добрива.
8. Переваги водоростей порівняно з іншими об'єктами біотехнології.
9. Роль водоростей у вирішенні глобальних проблем людства.

Література: [1-4, 25, 29, 32, 34].

Тема 2. Розвиток методології культивування водоростей

Історичний нарис щодо розвитку методів культивування водоростей: роботи Ф. Кона, А. Фамінцина, М. Бейерінка, П. Міквела, Г. Клебса, Р. Шодата, Е. Аллена, Е. Прінгсхейма, О. Варбурга, Х. Болда, Л. Провасолі, Х. Тамія, Н. Масюк. Методи консервації та тривалого зберігання колекційних культур водоростей: періодичний пересів на рідкі та агаризовані середовища, висушування у вакуумі, ліофілізація, кріоконсервація, заморожування, іммобілізація в альгінатних бусинках.

На лекції обговорюються питання щодо приготування штучних поживних середовищ та ролі у їх складі макро- і мікроелементів, вітамінів, органічних сполук, інертних хелаторів, ґрунтової витяжки. Розглядаються методи ізоляції клітин мікрободоростей з використанням мікропіпеток, фототаксису, селективних середовищ, центрифугування; методологія розведення, використання штучного освітлення та очистки води для приготування поживного середовища. Наводяться переваги та недоліки методів зберігання колекційних культур водоростей.

Практичні роботи:

1. Характеристика живильних середовищ для культивування мікрободоростей. Елементи мінерального живлення. Приготування живильних середовищ. Модифікація середовищ. Поняття культуральне середовище.

2. Періодичність пересіву, вихідна концентрація, товщина культурального шару, розрахунок посівного інокуляту. Базові середовища Болда, Тамія, Заррука, Артарі, Аллена. Поняття альгологічно чиста культура.

Питання для самоконтролю:

1. Історія формування поживних середовищ для водоростей.
2. Внесок у методологію культивування П. Міквела та Л. Провасолі.
3. Основні компоненти, які входять до складу поживних середовища для культивування водоростей.
4. Описати техніку приготування 1 л поживного середовища.
5. Наведіть переваги методу пересіву на рідкі та агаризовані середовища для зберігання колекційних культур водоростей.
6. Дайте визначення терміна альгологічно чиста культура.
7. Що таке вихідна концентрація?
8. Наведіть алгоритм розрахунку посівного інокуляту для одноклітинних та нитчастих водоростей.

Література: [2, 4, 31].

Тема 3. Морфологія і розмноження водоростей

Типи морфологічної структури водоростей, еволюція у напрямку втрати рухливості і переходу до нерухомого рослинного способу існування. Морфологічний паралелізм. Нестатеве розмноження: вегетативне та за допомогою спор. Статеве розмноження: соматогамне і гаметогамне. Життєві цикли та чергування поколінь (гаметофіт, спорофіт, гаметоспорофіт, зигота, карпоспорофіт). Типи мейозу та зміна ядерних фаз; зиготична, гаметична та спорична редукція.

На лекції розглядаються відмінності морфологічної структури водоростей. Наведено приклади нестатевого і статевого розмноження.

Показано ускладнення життєвих циклів за чергуванням поколінь, морфологічна відмінність поколінь, приклади порушення та розмикання циклів, здатність до стрибкоподібного видоутворення.

Розглядаються особливості розмноження водоростей з погляду промислового культивування.

Питання для самоконтролю:

1. Які існують типи морфологічної структури водоростей?
2. Поясніть поняття морфологічного паралелізму у водоростей.
3. Наведіть приклади нестатевого розмноження у водоростей.
4. Особливості соматогамних і гаметогамних статевих процесів.
5. Особливості будови та статевих процесу у видів роду *Spirogyra*.
6. Поняття про чергування ядерних фаз і поколінь у водоростей з точки зору використання водоростей як об'єктів біотехнології.

Література: [1, 2, 4].

Тема 4. Ціанобактерії: будова, морфологія, розмноження, представники та їх практичне значення

Цитологічні ознаки: особливості організації цитоплазматичної і тилакоїдної мембран, фікобілісом, поліедральних тіл, газових вакуолей. Пігменти та запасні поживні речовини. Фізіолого-біохімічні особливості відділу, будова і функції гетероцист. Будова талому, поділ клітин та розмноження. Класифікація ціанобактерій. *Arthrospira (Spirulina)*: характеристика і застосування. Ціанобактеріальні мати (строматоліти). Симбіози ціанобактерій. Біодобрива на основі ціанобактеріальних асоціацій, відновлення забруднених ґрунтів, біоіндикація, джерело біотоплива (біоводню), отримання біоцидних метаболітів і біопластику (полігідроксибутиратів).

На лекції розглядаються функціональні особливості організації клітин ціанобактерій.

Наводяться приклади застосування ціанобактерій в різних біотехнологіях. Обговорюються переваги та недоліки отримання масової кормової/харчової добавки з ціанобактерій.

Питання для самоконтролю:

1. Особливості будови клітини ціанобактерій.
2. Мембранна система ціанобактерій.
3. Функція та будова фікобілісом.
4. Поясніть фізіолого-біохімічну унікальність ціанобактерій.
5. Схема роботи гетероцисти.
6. Що таке трихом?
7. Особливості поділу та розмноження ціанобактерій.
8. Характеристика та застосування представників роду *Arthrospira*.
9. Сучасна класифікація ціанобактерій.
10. Наведіть приклади ціанобактерій екстремофілів.
11. Поясніть, з чим пов'язана різноманітність синтрофічних відносин ціанобактерій.
12. В чому полягає принцип конструювання штучних ціанобактеріальних асоціацій?

Література: [1, 2, 15, 17, 28, 30, 33].

Тема 5. Зелені водорості (Chlorophyta). Особливості будови, представники та їх практичне застосування

Біохімічні та цитологічні ознаки. Особливості будови клітинної оболонки, пластид, джгутикового апарату. Способи клітинного поділу. Типи мітозу. Системи зелених водоростей. Характеристика і використання представників відділу на прикладі *Chlamydomonas reinhardtii*, *Haematococcus pluvialis*, *Dunaliella salina*, *Raphidocelis subcapitata*.

На лекції розглядаються особливості організації клітин зелених водоростей.

Обговорюються приклади застосування представників відділу у різних областях біотехнології, фармації і медицини.

Питання для самоконтролю:

1. Наведіть приклади основних типів клітинних покривів представників зелених водоростей.
2. Зробіть аналіз загальної будови клітини зелених водоростей на прикладі *Chlamydomonas*.
3. Особливості будови джгутикового апарату зелених водоростей.
4. Ознаки сучасної класифікації *Chlorophyta*.
5. Дайте характеристику цитологічних ознак класів зелених водоростей: тип мітозу, веретено поділу, коренева система джгутиків, організатор клітинної платівки.
6. *Chlamydomonas reinhardtii* – перспективна платформа для біотехнології.
7. Біотехнологічні особливості отримання астаксантину з *Haematococcus pluvialis*.
8. Наведіть приклади ефектів астаксантину на різні фізіологічні системи людини і тварин.
9. Які фактори впливають на синтез β -каротину у *Dunaliella salina*?
10. Зелені водорості в кормових добавках. Досягнення і перспективи.
11. Використання мікроводорості *Raphidocelis subcapitata* у біосенсорах.
12. Переваги, недоліки та характеристика методів іммобілізації водоростей.

Література: [2, 3, 8, 9, 12, 17, 19, 20].

Тема 6. Червоні водорості (Rhodophyta). Особливості будови, представники та їх практичне застосування

Головні ознаки відділу. Будова клітинної оболонки червоних водоростей. Життєвий цикл у *Rhodophyta*. Розглядаються приклади використання фікоколоїдів, білків та пігментів з *Porphyridium purpurum* для медицини, харчування, косметики, аквакультури. Наведено джерело карагінанів *Carphagocystis*, *Eucheuma*, *Gigartina*; агароїдів – *Ahnfeltia*, *Gelidium*, *Gracilaria*, *Phyllophora*.

Обговорюються питання щодо отримання препаратів для корекції різних метаболічних порушень, інгібування поділу ракових клітин (*Palmaria palmata*, *Eucheuma serra*), з антивірусною (*Griffithsia*) та антибактеріальною активністю (*Chondrus armatus*, *Ahnfeltia tobuchiensis*, *Laurencia majuscula*), отримання гемаглютининів (*Ptilota plumosa*), глистогонних засобів (*Digenia simplex*) тощо.

Питання для самоконтролю:

1. Схема будови клітинної оболонки червоних водоростей. Утворення пор.
2. Головні ознаки відділу *Rhodophyta*.
3. Особливості життєвого циклу червоних водоростей.
4. Обґрунтуйте потенціал представників роду *Porphyridium* для комерційного вирощування.
5. Характеристика основних фікоколоїдів червоних водоростей. Препарати караганів.
6. Види червоних водоростей, які використовують у їжу. Чим обумовлені смакові якості представників червоних водоростей?
7. Наведіть приклади компонентів червоних водоростей, які використовують для отримання лікарських препаратів.

Література: [2, 5, 10, 12, 14, 16, 18, 21].

Тема 7. Діатомові водорості (*Bacillariophyta*). Особливості будови, представники та їх практичне застосування

Біохімічні та цитологічні ознаки. Особливості будови кремнеземного панцира, типи стулок, система шва, механізм ковзного руху. Способи клітинного поділу, ауксоспори. Класифікація діатомових водоростей. Діатомітовий аналіз. Діатомітові індекси для оцінки якості води. Перспективне джерело ліпідів під час створення компонентів кормів для аквагосподарств (роди *Nitzschia* та *Navicula*, *Chaetoceros calcitrans*).

На лекції розглядаються особливості організації клітин діатомових водоростей і використання діатомових фрустул у сфері нанотехнологій.

Обговорюються приклади застосування різних видів діатомових водоростей і стратегій модифікації їх поверхні для застосування в доставці ліків (*Aulacoseira*, *Thalassiosira weissflogii*, *Coscinodiscus granni*, *Nitzschia* sp.).

Питання для самоконтролю:

1. Особливості панцира діатомових водоростей: гіпотека, епітека, вид зі стулки і пояска.
2. Типи стулок діатомових водоростей центричного типу і піннатного типу. Система шва.
3. Приклади з'єднань клітин діатомових водоростей.
4. Типи рухів у діатомей.
5. Особливості розмноження і життєвого циклу. Ауксоспора.
6. Екофізіологічні відмінності *Bacillariophyta*.
7. Поясніть терміни діатомітовий аналіз і діатомітовий індекс.
8. Використання діатомових водоростей для отримання кормових добавок.
9. Сфери застосування кремнезему на основі діатомових водоростей.
10. Наведіть приклади різних видів діатомових водоростей і стратегій модифікації їх поверхні для застосування в доставці ліків.

Література: [2, 5, 14, 26, 31, 33].

РОЗДІЛ 2

Техніко-економічна характеристика культивування мікроводоростей

Тема 8. Характеристика розвитку мікроводоростей в умовах культури

Періодична культура: питома швидкість росту μ , час подвоєння біомаси t_d , константа швидкості ділення ρ , час генерації g , тривалість лаг-фази, економічний коефіцієнт, максимум біомаси. Крива росту, стан популяції на різних фазах росту. Неперервна культура: хемостат і турбідостат. Чинники, які впливають на зростання водоростей (джерело світла, відстань від поверхні, обростання внутрішніх поверхонь реактора, вміст вуглекислого газу).

На лекції розглядаються принципові особливості замкненої системи (періодична культура) і відкритої системи (неперервна культура). Детально розглянуто інформативність кривої росту.

Обговорюються приклади управління і контролю за процесом неперервного культивування хемостатним і турбідостатним способом.

Наведено чинники, які суттєво впливають на зростання мікроводоростей у фотобіореакторах.

Практичні роботи:

3. Особливості культивування мікроводоростей *Dunaliella viridis*, *Chlorella vulgaris*, *Anabaena sp.*, *Spirulina platensis*. Особливості будови, умови культивування, схема пересіву маткової культури, мікроскопічні (підрахунок клітин в камері Горяєва) та спектрофотометричні методи визначення динаміки росту одноклітинних та нитчастих форм водоростей.

Питання для самоконтролю:

1. Водорості в умовах культури: замкнена і відкрита система; ріст, розвиток і розмноження культури водоростей.
2. Найбільш уживані й інформативні кількісні характеристики росту періодичної культури.
3. Аналіз кривої росту, фази і стан популяції.
4. Параметри кривої росту.
5. Характеристика росту водоростей у неперервній культурі.
6. Ріст у хемостаті, переваги і недоліки.
7. Особливості росту у турбідостаті.
8. Проблема забезпечення світлом у фотобіореакторі.

Література: [6, 31, 33].

Тема 9. Конструкції існуючих фотореакторів для вирощування мікроводоростей

Конструкція фотореактора забезпечує дотримання оптимального температурного режиму, введення і відведення газових і рідких потоків,

контроль за складом живильного середовища та умовами всередині реактора. Основна увага при конструюванні фотобіореакторів приділяється забезпеченню культур світлом, що накладає принципові обмеження на їх конструкцію.

На лекції розглядаються типи фотобіореакторів, які використовують для культивування мікроводоростей, та вимоги до них. Надається характеристика способу перемішування (бульбашкові і газліфтні), наведено типи конструкції фотореакторів (у вигляді пласкопаралельних кювет, трубчасті реактори, фотобіореактори на основі коаксіальних циліндрів, у яких культура знаходиться в кільцевому проміжку між двома співвісно встановленими прозорими циліндрами), їх переваги та недоліки. Обговорюються технології вирощування водоростей у малих біореакторах, розташованих поблизу електростанцій. Тепло, яке вивільнюють ТЕЦ, здатне покрити до 77 % потреб у ньому для вирощування водоростей. Наведено розрахунок можливої заміни водоростевим біодизелем сирової нафти, яку імпортує Україна.

Питання для самоконтролю:

1. Конструктивні особливості фотобіореакторів для культивування мікроводоростей.
2. Порівняйте пласкопаралельні і трубчасті фотобіореактори, їх переваги і недоліки.
3. Як працює система ТЕЦ і фотобіореактор?
4. Як вирішують проблему забезпечення культур світлом?
5. Характеристика матеріалів для фотобіореакторів.

Література: [7, 14, 21, 25].

Тема 10. Промислове культивування мікроводоростей у відкритих системах

Культивування у відкритих системах типу «raceway». Природні (озера, лагуни і ставки), штучні ставки або контейнери, стічні води. Масове культивування *Chlorella*, *Arthrospira*, *Dunaliella salina*. Вплив кліматичних і сезонних чинників на зростання. Формування штамової специфіки і продуктивності. Регіональна специфіка культивування мікроводоростей.

На лекції розглядається технологія культивування у відкритих системах. Матеріали, з яких зведені стіни, дно та підкладка, конфігурація лопатей на гребному колесі визначають продуктивність ставка, життєздатність і вартість. Наведено складові капітальних витрат та витрат на експлуатацію, загальні капіталовкладення.

Обговорюються переваги та недоліки відкритих систем порівняно з закритими фотобіореакторами.

Питання для самоконтролю:

1. Особливості системи типу «raceway».
2. Природні та штучні відкриті системи культивування.
3. Які фактори впливають на продуктивність відкритих систем?

4. Формування видової специфіки масового культивування, регіональні та кліматичні передумови.
5. Наведіть перелік витрат на експлуатацію системи культивування відкритого типу.

Література: [5, 6, 8, 14, 23, 31].

РОЗДІЛ 3

Використання мікроводоростей як сировини для виробництва лікарських препаратів, нутріцевтиків, продуктів харчування, біопалива

Тема 11. Водорості – продуценти токсинів

На лекції розглядаються ціанобактеріальні токсини мікроцистин, нодулярин, циліндропермопсин, анатоксин, саксітоксин, їх будова, синтез на збірній лінії полікетидсинтази, дія на живі організми та сфери застосування. Ауріліди, курацин-А, коїбамід – потенційні майбутні протипухлинні препарати з ціанобактерій *Moorea producens* (*Lyngbya majuscula*). Низькомолекулярні біологічно активні пептиди: еругінозини, циклічні депсіпептиди (криптофіцини), мікровіридини, анабенопептини (екологічне значення), мікрогініни. Водорості інших відділів, які продукують токсини. *Dinophyceae* (*Alexandrium tamarense* паралітичне отруєння молюсками (PSP), *Dynophysis* діаретичне молюскове отруєння (DSP), *Karenia brevis* нейротоксичне молюскове отруєння (NSP), сігуатоксини (CTX), *Gambierdiscus toxicus*, вазоконстриктор палітоксин з *Ostreopsis*). *Bacillariophyceae* (*Ampfora*, *Nitzschia* амнезійне молюскове отруєння (ASP)). Евгленофіцин, виділений з *Euglena sanguinea*.

Обговорюється характеристика та різноманітність ціанобактеріальних токсинів, які проявляють цито-, гепато-, нейро-, дерматотоксичність і викликають у певних концентраціях різні захворювання, зокрема нейродегенеративні, виступають як патогенні агенти виникнення специфічних захворювань людини. Розглядається залежність вмісту мікроцистину у рослинах від вмісту ціанотоксину у воді для зрошення, тривалості поливів, перехід у плоди і насіння. Наведено структурну характеристику та подальше токсикологічне дослідження як потенційних терапевтичних засобів, зокрема щодо клітинних ліній раку.

Практичні роботи:

4. Використання мікроводоростей *Dunaliella viridis* і *Chlorella vulgaris* у біотестуванні препаратів та харчових домішок. Виявлення токсичності речовин природного та синтетичного походження.

Питання для самоконтролю:

1. Фактори що впливають на цвітіння водойм. Проблема чистої питної води.
2. Ціанобактеріальні токсини гепатотоксичної дії.

3. Нейротоксини, приклади, будова, принцип дії.
4. Особливості синтезу токсинів ціанобактерій.
5. Наведіть приклади низькомолекулярних біологічно активних пептидів.
6. Особливості анабенопептинів, структурна різноманітність та екологічне значення.
7. Токсичний арсенал *Dinophyceae*.
8. Представники діатомових водоростей, які синтезують токсини.
9. Потенційне застосування токсинів водоростей у дослідженнях захворювань людини.

Література: [2, 10, 16, 20, 25].

Тема 12. Полісахариди бурих водоростей (*Phaeophyceae*)

Основні полісахариди бурих водоростей: альгінові кислоти, ламінарин та фукоїдани. Джерела, структура, використання. Технологічна схема виробництва альгіната натрію. Імуномодуюча дія фукоїдану. Взаємодія з толл-подібними рецепторами. Індуктори дозрівання дендритних клітин. Взаємодія з нейтрофілами, лімфоцитами та стимуляція системи комплементу та виведення імунних комплексів. Імуномодуюча дія альгінатів: активізація фагоцитозу, запобігання алергічних реакцій шляхом виведення надлишку IgM та IgE, запобігання викиду біологічно активних речовин, стимуляція імуноглобулінів місцевого специфічного захисту. Імуномодуюча дія ламінаринів здійснюється через прямий вплив β -глюкану на імунні клітини або опосередкований вплив через властивості харчових волокон.

Застосування фукоїдану з *Fucus evanescens* в лікуванні атеросклерозу, здатність коригувати на моделі аліментарної гіперліпідемії у мишей основні показники ліпідного обміну, здійснювати стабілізуючий вплив на стан окисного метаболізму і активність ферментів антиоксидантного захисту, а також нормалізований вплив на анатоμο-топографічну структуру печінки.

Потенціал використання бурих водоростей у косметичній промисловості та кормових добавках.

На лекції обговорюється характеристика основних полісахаридів бурих водоростей.

Розглядається можливий механізм впливу полісахаридів, який включає активацію системи передачі внутрішньоклітинного сигналу вуглеводами за допомогою об'єднання та взаємодії з конкретними відповідними рецепторами або каналами на клітинній мембрані; згодом індукується експресія та вивільнення безлічі цитокінів, і зрештою стимулюється імунна система.

Наведено приклади практичного застосування полісахаридів бурих водоростей.

Практичні роботи:

5. Отримання біомаси культури мікроводоростей та визначення її біохімічного складу на прикладі *Dunaliella viridis*. Визначення кількості легкорозчинного білка в клітинах мікроводоростей за методом Лоурі. Побу-

дова калібрувального графіка на реактив Фоліна–Чокальтеу. Кількісне визначення вмісту хлорофілів і каротиноїдів. Фенол-сірчанокислотний метод Моліша (визначення кількості загального цукру у культуральному середовищі). Визначення вмісту РНК, ДНК в клітинах за методом Спіріна.

Питання для самоконтролю:

1. Біологічні функції полісахаридів.
2. Особливості будови клітинної оболонки бурих водоростей.
3. Характеристика і застосування альгінової кислоти.
4. Наведіть схему виробництва альгіната натрію.
5. В чому полягає імуномодуюча дія фукоїдану?
6. Вплив альгінатів на імунну систему.
7. Механізм дії ламінаринів на імунні клітини.
8. Феромони бурих водоростей.
9. Бурі водорості у кормових добавках.

Література: [2, 5, 12, 16, 18, 20, 33].

Тема 13. Ліпіди мікроводоростей та їх застосування

Вміст ліпідів у клітинах водоростей, фосфогліцериди та гліколіпіди фотосинтетичних мембран, шляхи синтезу жирних кислот у хлоропластах. Жирні кислоти мікроводоростей: позначення, формула, систематична та тривіальна назва. Головні жирні кислоти різних систематичних груп мікроводоростей. Спектр жирних кислот прісноводних та морських видів водоростей. Жирнокислотний профіль *Odontella aurita*, *Porphyridium*, *Ulkenia*, *Cryptocodinium cohnii*, *Botryococcus braunii*.

Вихід і склад ліпідів залежить від штаму, використовуваної системи культивування, умов росту і старіння клітин, а також концентрації азоту, фосфору і мікроелементів.

На лекції розглядається загальна характеристика жирних кислот мікроводоростей.

Обговорюється вплив умов культивування водоростей на їх жирнокислотний склад, перспективи використання у медицині та фармакологічна дія ліпідів мікроводоростей: протипухлинна активність, протівірусна активність у відношенні до ВІЛ, протизапальна дія (зменшення набряків), пригнічення та індукція агрегації тромбоцитів.

Наведено приклади продуцентів основних поліненасичених жирних кислот та галузі їх застосування.

Практичні роботи:

6. Отримання ліпідів мікроводоростей за умов комбінації складу живильного середовища. Екстракція загальних ліпідів і поділ на фракції методом тонкошарової хроматографії на силікагелевих пластинах.

Питання для самоконтролю:

1. Основні ліпіди фотосинтетичних мембран.
2. Фармакологічна дія ліпідів мікроводоростей.
3. Порівняйте склад жирних кислот прісноводних та морських видів водоростей.
4. Приклади жирних кислот *Cyanophyta*.
5. Головні жирні кислоти *Dynophyta*.
6. Спектр жирних кислот *Bacillariophyta*.
7. Жирні кислоти представників *Chlorophyceae*.
8. Жирнокислотний профіль *Porphyridium*.
9. Наведіть приклади впливу умов культивування водоростей на їх жирнокислотний склад.
10. Поняття поліненасичені жирні кислоти та їх застосування.

Література: [10, 12, 16, 17, 20, 25, 33].

Тема 14. Використання мікроводоростей в альтернативній енергетиці

Фотосинтетична продуктивність мікроводоростей та шляхи її підвищення. Молекулярний водень – екологічно безпечний для довкілля поновлюваний носій енергії. Використання *Chlamydomonas reinhardtii* як продуцента водню, типи ферментів гідрогеназ. Схема фотосинтетичного виділення водню гетероцистами, найактивніші продуценти ціанобактерій. Мікроводорості як біопаливо 3-го та 4-го покоління (біомаса, генетично модифіковані штами). Технологія утворення біодизельного палива із мікроводоростей: культивування мікроводоростей, концентрування біомаси мікроводоростей, дезінтеграція клітинних стінок (приклади методів), екстракція, відгонка екстрагенту; синтез біодизельного палива, реакції алкохолізу (трансестерифікації).

Схема отримання біодизельного палива із біомаси мікроводорості *Chlorella vulgaris*. Вміст жирних кислот у *Chlorella vulgaris* в залежності від технології культивування (закрита система у фотобіореакторі, відкрита система у ставку). Загальна схема установки міні-заводу для виробництва біодизеля. Принципова технологічна схема процесу метанового бродиння біомаси мікроводоростей.

Botryococcus braunii – унікальний за складом представник планктонних зелених водоростей порядку *Trebouxiophyceae*; раси, будова, умови культивування, застосування, можлива роль в утворенні нафти.

На лекції розглядається можливість застосування мікроводоростей як продуцентів водню та біодизельного палива.

Обговорюються методи переробки біомаси мікроводоростей в Україні та підходи, які для цього використовують (біохімічна конверсія шляхом анаеробної ферментації, термохімічна конверсія (газифікація, піроліз), хімічне перетворення біомаси шляхом трансестерифікації).

Отримати дизельне паливо з 85 %-м виходом можна за умов перетворення олії з *Botryococcus braunii* раси В, яка містить рідкі вуглеводні

ботріококцени і метильовані сквалени, за допомогою простого процесу конверсії в м'яких умовах за 260°C і 1 атм.

Питання для самоконтролю:

1. Ефективність фотосинтетичного перетворення енергії світла мікрободоростями. Причини втрат енергії.
2. Молекулярний водень – екологічно безпечний для довкілля поновлюваний носій енергії.
3. Характеристика гідрогеназ мікрободоростей та їх ефективність.
4. Особливості гідрогеназ ціанобактерій.
5. Біопаливо 3 і 4 покоління.
6. Опишіть технологію утворення біодизельного палива із мікрободоростей на прикладі *Chlorella vulgaris*.
7. Загальна схема установки міні-заводу для виробництва біодизеля.
8. Переваги і недоліки біодизельного палива.
9. Схема анаеробного метанового зброджування.
10. Мікрободорість *Botryococcus braunii* – продуцент вуглеводнів, джерело отримання дизельного палива, роль в утворенні нафти.

Література: [6, 11, 13, 22, 24].

СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Назви розділів і тем	Кількість годин											
	Денна форма						Заочна форма					
	Усього	у тому числі					Усього	у тому числі				
л		п	лаб	інд	ср	л		п	лаб	інд	ср	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Розділ 1. Мікрободорості як об'єкт біотехнології.												
Сучасний стан та наукові дослідження в галузі біотехнології мікрободоростей												
Тема 1.	5	3				2	6	1				5
Тема 2.	6	2	2			2	11		1			10
Тема 3.	6	2	2			2	10					10
Тема 4.	7	3	2			2	7	1	1			5
Тема 5.	7	3	2			2	6	1				5
Тема 6.	4	2				2	10					10
Тема 7.	5	3				2	10					10
<i>Разом за розділом 1</i>	40	18	8			14	60	3	2			55
Розділ 2. Техніко-економічна характеристика культивування мікрободоростей												
Тема 8.	10	2	4			4	7	1	1			5
Тема 9.	10	2	4			4	7	1	1			5
Тема 10.	6	2				4	10					10
<i>Разом за розділом 2</i>	26	6	8			12	24	2	2			20
Розділ 3. Використання мікрободоростей як сировини для виробництва лікарських препаратів, нутріцевтиків, продуктів харчування, біопалива												
Тема 11.		2	4			6	7	1	1			5
Тема 12.		2	4			6	7	1	1			5
Тема 13.		2	4			8	7	1	1			5
Тема 14.		2	4			10	15		1			14
<i>Разом за розділом 3</i>	54	8	12			30	36	3	4			29
Всього годин	120	32	32			56	120	8	8			104

ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ

На практичних заняттях розглядаються окремі теоретичні положення лекційного матеріалу, обговорюються різні питання щодо особливостей культивування різних видів мікродоростей у періодичній та неперервній культурі, отримання біомаси мікродоростей та методів визначення її біохімічного складу. Студенти навчаються аналізувати сучасну наукову літературу з біотехнології мікродоростей та робити доповіді з певної теми (за темами практичних занять). Темі практичних занять наведені в рамках тем навчальної дисципліни.

САМОСТІЙНА РОБОТА

Самостійна робота студентів полягає в опануванні теоретичного матеріалу лекцій, у підготовці до практичних занять, контрольних робіт, підсумкового семестрового контролю (екзамену), у підготовці усних доповідей з визначених тем курсу.

МЕТОДИ НАВЧАННЯ

Під час викладання дисципліни використовуються наступні методи навчання:

- словесні методи: лекція, пояснення, бесіда, дискусія, самостійна робота з навчальною і науковою літературою;
- методи спостереження: методи ілюстрацій, методи демонстрацій;
- практичні методи: творчі роботи, практичні заняття;
- методи проблемного навчання: виклад з елементами проблемності, дослідницький метод.

МЕТОДИ КОНТРОЛЮ

Поточний контроль

Усне опитування, яке здійснюється перед лекцією з метою контролю засвоєння теоретичних положень, викладених у попередній лекції.

Упродовж семестру студенти готують усні доповіді або доповіді з презентацією з аналізу наукових статей та реферат за обраними темами курсу.

Підсумковий семестровий контроль

Екзамен проводиться у письмовій формі. Студенти письмово відповідають на тестові питання (40 питань – 40 балів, 2 блоки питань: з однією і декількома правильними відповідями).

Приклад екзаменаційних тестових питань

Для яких водоростей характерні зооспори у розмноженні?

- 1) хлорела, хламідомонада, ламінарія;
- 2) спірогіра, улотрикс, ульва;
- 3) хлорела, спірогіра, ульва;
- 4) ламінарія, улотрикс, хламідомонада.

З кількох клітин складаються чоловічі або жіночі статеві органи у водоростей?

- 1) з антеридіїв;
- 2) з двох клітин;
- 3) з багатьох клітин;
- 4) з однієї клітини.

Визначити водорості за типом будови:

- A) *Chara vulgaris*;
- Б) *Haematococcus pluvialis*;
- В) *Navicula sp.*;
- Г) *Dunaliella viridis var. palmelloides*.

- 1) кокоїдний;
- 2) гемімонадний;
- 3) тканинний;
- 4) монадний.

Джгутики виконують функцію:

- 1) захисну;
- 2) руху;
- 3) поділу клітини;
- 4) статевого розмноження.

Концентрація клітин водоростей залишається постійною:

- 1) у хемостаті;
- 2) у турбідостаті;
- 3) на лаг-фазі;
- 4) у неперервній культурі.

За підсумками поточного і підсумкового контролю студент може набрати від 0 до 100 балів включно. Мінімальна кількість балів, які повинен набрати студент для одержання екзамену, становить 50 балів.

Якщо здобувач вищої освіти без поважної причини не з'явився на семестровий екзамен, приймання екзамену проводиться після екзаменаційної сесії комісією, яка створюється наказом проректора з науково-педагогічної роботи, відповідального за організацію освітнього процесу, за поданням декана факультету.

Семестровий екзамен – це складова підсумкового семестрового контролю, що полягає в оцінці засвоєння здобувачем вищої освіти навчаль-

ного матеріалу з певного виду навчальної діяльності, результати навчання за яким оцінюються за стобальною та чотирирівневою шкалами оцінювання.

Чотирирівнева шкала оцінювання – оцінки «відмінно», «добре», «задовільно», «незадовільно».

Відповідно до кількості набраних балів оцінки за шкалами університету виставляються за такою системою:

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка за чотирирівневою шкалою оцінювання
1–49	незадовільно
50–69	задовільно
70–89	добре
90–100	відмінно

ПЕРЕЛІК ПИТАНЬ ДО СЕМЕСТРОВОГО ЕКЗАМЕНУ

1. Особливості будови і морфології водоростей.
2. Класифікація водоростей.
3. Розмноження водоростей та життєві цикли.
4. Розвиток методології культивування водоростей.
5. Функціональні особливості організації клітин ціанобактерій.
6. Особливості будови, представники та практичне застосування зелених мікроводоростей.
7. Особливості будови, представники та практичне застосування червоних водоростей.
8. Особливості організації клітин діатомових водоростей і їх використання.
9. Характеристика розвитку мікроводоростей в умовах культури.
10. Водорості як джерело антиоксидантів.
11. Характеристика та різноманітність ціанобактеріальних токсинів.
12. Особливості конструкцій фотореакторів.
13. Відкриті системи культивування водоростей.
14. Ліпіди водоростей та методи їх виділення.
15. Характеристика і застосування основних полісахаридів бурих водоростей.
16. Використання біологічно активних речовин з водоростей у харчовій промисловості та інших галузях.
17. Проблеми, які виникають під час культивування водоростей у промисловості.
18. Використання водоростей для отримання водню.
19. Імобілізація водоростей.
20. Переваги використання іммобілізованих водоростей.

21. Отримання біодизельного палива із біомаси мікроводоростей.
22. Використання мікроводоростей у лабораторній діагностиці.
23. Жирні кислоти водоростей медичного призначення.

СХЕМА НАРАХУВАННЯ БАЛІВ

Визначення балів під час виконання певної форми роботи

1. Виконання практичних робіт (№ 1 – 2 бали, № 2 – 2 бали; № 3 – 4 бали; № 4 – 4 бали; № 5 – 4 бали; № 6 – 4 бали) – разом до 20 балів (оцінюється повне виконання практичного завдання, вчасність виконання роботи, оформлення роботи та вміння зробити висновки та відповісти на запитання).

2. Аналіз 2 наукових статей з тематики розділів 1–3 (до 20 балів). Аналіз 1 статті – до 10 балів. Необхідно вказати:

- назву статті і ким виконані дослідження;
- мету та завдання дослідження;
- результати та висновки дослідження;

презентація результатів – за бажанням. При аналізі наукової статті оцінюється: розкриття актуальності роботи – 2 бали; чіткість визначення мети та завдань досліджень – 2 бали; логічність при доповіді результатів дослідження – 2 бали; вміння зробити висновки та знайти перспективність подальших досліджень – 4 бали (разом до 20 балів).

3. Написання реферату та доповідь з тематики курсу (вільний вибір теми) – до 20 балів.

У рефераті треба висвітлити необхідну наукову інформацію і продемонструвати своє відношення до неї. Реферат має демонструвати знання та здатність дослідника самостійно аналізувати, класифікувати та узагальнювати. Реферат може включати аналіз і критику відповідних теорій, тобто поглядів майбутнього фахівця, що демонструють його здатність аналізувати та інтерпретувати явища і процеси на основі теоретичних знань.

Орієнтовна структура реферату: Титульний аркуш. План. Вступ. Основна частина, яка складається з розділів, пунктів та підпунктів. Висновки. Список використаних джерел. Додатки (за необхідності).

У **вступі** зазначається важливість актуальності теми, її специфіка, відповідність потребам суспільства та розвитку певної галузі науки чи практики.

Основна частина містить огляд найважливіших теоретичних і експериментальних досліджень з даної теми, зазначаючи, які вчені досліджували цю проблему та які ідеї були висловлені. Визначити сутність проблеми, основні фактори, що визначають розвиток досліджуваного явища чи процесу, навести перелік основних змістовних аспектів проблеми, що розглядаються науковцями. Визначте недостатньо досліджені питання та поясніть,

чому охоплення є низьким. Далі йде детальний аналіз сучасного стану процесу чи явища, тлумачення основних поглядів і позицій на проблему, власних суджень і міркувань щодо перспектив розвитку проблеми.

У **висновках** надаються узагальнені думки, ідеї, оцінки і пропозиції автора.

До **списку використаних джерел** включають публікації (особливу увагу треба приділити публікаціям останніх 5 років, Інтернет-ресурсам і роботам останнього року). Посилання студентів на публікації вчених університету і провідної кафедри слід сприймати позитивно. Список використаних джерел оформляється відповідно до існуючих стандартів бібліографічного опису (ДСТУ 8302:2015).

У **додатках** для значного полегшення розуміння роботи наводяться формули, таблиці та рисунки. Зміст реферату повинен відповідати темі, зазначеній у заголовку. Обсяг реферату становить від 10 до 15 стандартних аркушів формату А4. Кількість опрацьованої літератури (в залежності від теми реферату) може складати від 7 до 20 посилань.

Посилання на джерела та літературу вміщуються у кінці речення в квадратних дужках, перед крапкою: [2, с. 3-5]. Перша цифра вказує на номер джерела із списку літератури, далі через кому вказуються сторінки, на які в даному джерелі посилається студент. Список використаних джерел та літератури повинен бути побудований за абеткою або за порядком появи посилань у тексті.

Доповідь з презентацією за бажанням.

№ з/п	Критерії оцінювання роботи	Максимальна кількість балів за кожним критерієм
1.	Обґрунтування актуальності, формулювання мети, завдань та визначення методів дослідження	2 бали
2.	Складання плану реферату	1 бал
3.	Критичний аналіз суті та змісту першоджерел. Виклад фактів, ідей, результатів досліджень у логічній послідовності. Аналіз сучасного стану дослідження проблеми, розгляд тенденцій подальшого розвитку даного питання	5 балів
4.	Дотримання правил реферування наукових публікацій	5 балів
5.	Доказовість висновків, обґрунтованість власної позиції, пропозиції щодо розв'язання проблеми, визначення перспектив дослідження	5 балів
6.	Дотримання вимог щодо технічного оформлення структурних елементів роботи (титольний аркуш, план, вступ, основна частина, висновки, додатки (якщо вони є), список використаних джерел, посилання	2 бали
Разом		20 балів

4. Екзамен у письмовій формі у вигляді тестів (40 питань – 40 балів).

Основними критеріями, що характеризують рівень компетентності студента під час оцінювання результатів поточного та підсумкового контролю, є такі:

- виконання всіх видів навчальної роботи, передбачених робочою програмою з дисципліни;
- характер відповідей на поставлені питання протягом поточного опитування (чіткість, інформативність, логічність, послідовність тощо);
- глибина і характер знань навчального матеріалу за змістом навчальної дисципліни, що міститься в основних та додаткових рекомендованих джерелах інформації;
- вміння аналізувати та працювати з науковими статтями (вміти визначати актуальність наукових досліджень у певній галузі, чітко визначати мету, задачу досліджень, вміти робити висновки щодо отриманих результатів досліджень фахівців певної галузі);
- характер виконання письмових робіт (правильність відповідей, оформлення роботи згідно з прийнятими стандартами, вчасність виконання роботи).

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Бойко М. Ф. Ботаніка. Водорості та мохоподібні / М. Ф. Бойко. – Київ : Ліра-К, 2019. – 272 с.
2. Альгологія. Рукопис підручника для студентів 3–4 курсу спеціальності «Ботаніка» / І. Ю. Костіков, П. М. Царенко. – Київ, 2009–2013. – 377 с.
3. Система органічного світу. Історія та сучасність / Д. В. Леонт'єв. – Х. : Основа, 2018. – 112 с.
4. Binder D. A. ALL ABOUT ALGAE: Exploring Algology or Phycology / First Edition. – Pharos Books, 1 September 2023. – 196 p.
5. Sartori R. B., Rodríguez Padrón R. A., Mérida Luis G. R. Current Status of the Microalgae Application in Agriculture and Aquaculture// Current Status of the Microalgae Application in Agriculture and Aquaculture. 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.1002278>.
6. Qin S., Wang K., Gao F., Ge B., Cui H., Li W. Biotechnologies for bulk production of microalgal biomass: from mass cultivation to dried biomass acquisition. A review// Biotechnology for Biofuels and Bioproducts, 2023.16:131 <https://doi.org/10.1186/s13068-023-02382-4>.
7. Khaligh S. F., Asoodeh Ah. Recent advances in the bio-application of microalgae-derived biochemical metabolites and development trends of photobioreactor-based culture systems// 3 Biotech. 2022. 12: 260 <https://doi.org/10.1007/s13205-022-03327-8>.

8. Coronado-Reyes J.A. Salazar-Torres J.A., Juárez-Campos B., González-Hernández J.C. *Chlorella vulgaris*, a microalgae important to be used in Biotechnology: a review// *Food Science and Technology*, 2022. Vol. 42. P. 1–11. DOI: <https://doi.org/10.1590/fst.37320>
9. Zhang F., Zhuang Ji., Li Z., Gong H., Esteban-Fernández de Ávila B., et. al. Nanoparticle-modified microrobots for in vivo antibiotic delivery to treat acute bacterial pneumonia // *Nature Materials*. 2022. Vol. 21. P. 1324–1332. DOI: [10.1038/s41563-022-01360-9](https://doi.org/10.1038/s41563-022-01360-9).
10. Demarco M., Oliveira De Moraes J., Matos Â. P., Derner R. B., De Farias Neves F., Tribuzi G. Digestibility, bioaccessibility and bioactivity of compounds from algae// *Trends Food Sci. Technol.* 2022. № 121. P. 114–128. doi: [10.1016/j.tifs.2022.02.004](https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.02.004).
11. Nazlooa E. K., Moheimanibc N. R., Ennaceri H. Biodiesel production from wet microalgae: Progress and challenges// *Algal Research*, 2022. Vol. 68. doi.org/10.1016/j.algal.2022.102902.
12. Matos Â. P., Novelli E., Tribuzi G. Use of algae as food ingredient: sensory acceptance and commercial products// *Front. Food. Sci. Technol.* 2022. № 2. P. 989801. doi: [10.3389/frfst.2022.989801](https://doi.org/10.3389/frfst.2022.989801).
13. Hea S., Barati B. Carbon migration of microalgae from cultivation towards biofuel production by hydrothermal technology: A review// *Fuel Processing Technology*, 2022. Vol. 240. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2022.107563>.
14. Mitali A. B., Singh, K. M., Sanjeev R., Prajapati K. Techno-economic analysis of microalgae cultivation for commercial sustainability: A state-of-the-art review// *Journal of Cleaner Production*, 2022. Vol. 370. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133456>.
15. López-Hernández, J.-F.; Kean-Meng, T.; Asencio-Alcudia, G.-G.; Asyraf-Kassim, M.; Alvarez-González, C.-A.; Márquez-Rocha, F.-J. Sustainable Microalgae and Cyanobacteria Biotechnology// *Appl. Sci.* 2022. 12, 6887. <https://doi.org/10.3390/app12146887>.
16. Choudhary B., Chauhan O. P., Mishra A. Edible Seaweeds: A Potential Novel Source of Bioactive Metabolites and Nutraceuticals With Human Health Benefits// *Front. Mar. Sci.* 2021. № 8. P. 740054. doi: [10.3389/fmars.2021.740054](https://doi.org/10.3389/fmars.2021.740054).
17. Araujo R., Peteiro C. *Algae as food and food supplements in Europe*// Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2021. Vol. 39. doi.org/10.2760/049515.
18. Francezon N., Tremblay A., Mouget J.-L., Pasetto P., Beaulieu L. Algae as a source of natural flavors in innovative foods// *J. Agric. Food Chem.* 2021. № 69. P. 11753–11772. doi: [10.1021/acs.jafc.1c04409](https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c04409).
19. Woyda-Ploszczyca A.M., Rybak A.S. How can the commercial potential of microalgae from the *Dunaliella* genus be improved? The importance

of nucleotide metabolism with a focus on nucleoside diphosphate kinase (NDPK) // *Algal Research*, 2021. Vol. 60. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102474>.

20. Vieira M.V., Turkiewicz I.P., Tkacz K., Fuentes-Grünwald C., Pastrana L.M., Fuciños P., et al. Microalgae as a Potential Functional Ingredient: Evaluation of the Phytochemical Profile, Antioxidant Activity and In-Vitro Enzymatic Inhibitory Effect of Different Species// *Molecules*, 2021. 26, 7593. <https://doi.org/10.3390/molecules26247593>.

21. Imran Ahmad I., Abdullah N., Koji I., Yuzir A., Muhammad Sh.E. Evolution of Photobioreactors: A Review based on Microalgal Perspective// *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng*, 2021. 1142. Doi:10.1088/1757-899X/1142/1/012004.

22. Mutanda T, Naidoo D, Bwapwa J.K., Anandraj A. Biotechnological Applications of Microalgal Oleaginous Compounds: Current Trends on Microalgal Bioprocessing of Products: a review// *Front. Energy Res.*, 2020. 8:598803. doi: 10.3389/fenrg.2020.598803.

23. Rayen F., Taidi B., Pareau D. Optimization of a raceway pond system for wastewater treatment: a review// *Critical Reviews in Biotechnology*. 2019. Vol. 39. Is.3. P. 422–435. <https://doi.org/10.1080/07388551.2019.1571007>.

24. Hossaina N., Mahliab T.M.I. Progress in physicochemical parameters of microalgae cultivation for biofuel production// *Critical Reviews in Biotechnology*, 2019. DOI: 10.1080/07388551.2019.1624945.

25. Кірпенко Н. І., Леонтьєва Т. О. Біотехнологічні перспективи мікробіодоростей // *Biotechnologia Acta*. – Т. 12. – № 6. – 2019. – С. 25–34. <https://doi.org/10.15407/biotech12.06.025>.

26. Hyun Soo K., Timothy P.D., Arum H. Microfluidic systems for microalgal biotechnology: A review// *Algal Research*, 2018. Vol. 30. P. 149–161. doi:10.1016/j.algal.2017.11.020.

27. Clemens P., Chen St.F. [Advances in Biochemical Engineering/ Biotechnology] *Microalgae Biotechnology*. 2016. Vol. 153. – 205 p. doi: 10.1007/978-3-319-23808-1.

28. Lu-Ning Liu. Distribution and dynamics of electron transport complexes in cyanobacterial thylakoid membranes// *Biochimica et Biophysica Acta*, 2016. 1857. P. 256–265 <http://dx.doi.org/10.1016/j.bbabi.2015.11.010>

29. Gavelis G. S., Hayakawa Sh., White III R.A., Gojobori T., Suttle C.T., Keeling P.J., et al. Eye-like ocelloids are built from different endosymbiotically acquired components // *Nature*, 2015. Vol. 523. P. 204–207. Doi: 10.1038/nature14593.

30. Komárek J. Taxonomic classification of cyanoprokaryotes (cyanobacterial genera), using a polyphasic approach / J. Komárek, J. Kaštovský, J. Mareš, J.R. Johansen // *Preslia*. – 2014. – Vol. 86. – P. 295-335.

31. Bajpai R. *Algal Biorefineries. Volume 1: Cultivation of Cells and Products* / R. Bajpai, A. Prokop, M. Zappi – Springer Heidelberg London, 2014. – 331 p.

32. Baum D.A., Baum B. An inside-out origin for the eukaryotic cell// BMC Biology, 2014. Vol. 12. Is.76 P. 1–22 <http://www.biomedcentral.com/1741-7007/12/76>.

33. Handbook of microalgal culture: Applied Phycology and Biotechnology / Ed. Amos Richmond, Qiang Hu. – Oxford : Wiley&Sons, Ltd, 2013. – 726 p.

34. Curtis B.A., Tanifuji G., Burki F., et al. Algal genomes reveal evolutionary mosaicism and the fate of nucleomorphs // Nature. 2012. V. 492. P. 59–65.

Посилання на інформаційні ресурси в мережі Інтернет

1	Костіков І. Ю., Царенко П. М. Альгологія. Рукопис підручника для студентів 3-4 курсу спеціальності «Ботаніка» – PDF Free Download (docplayer.net)	Костіков І. Ю., Царенко П. М. Альгологія. Рукопис підручника для студентів 3-4 курсу спеціальності «Ботаніка»
2	Begell House - International Journal on Algae	International Journal on Algae
3	Algology - Definition and Examples - Biology Online Dictionary	Algology
4	https://algologia.co.ua/journal	Algologia. International Open Access journal
5	Algological Studies, Journal of phycological research (ISSN 1864-1318) – Schweizerbart science publishers	Algological Studies, International Journal of phycological research
6	http://www.algaebase.org	Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway
7	https://www.intechopen.com/books/plant-science/microalgal-biotechnology-prospects-and-applications .	Microalgal Biotechnology: Prospects and applications
8	Журнали (botany.kiev.ua)	Інститут ботаніки ім. М. Г. Холодного НАН України
9	Ukrainian Botanical Journal (ukrbotj.co.ua)	Український ботанічний журнал
10	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov	Medline (National Library of Medicine' s search)

Навчальне видання

Голтвянський Анатолій Володимирович

БІОТЕХНОЛОГІЯ МІКРОВОДОРОСТЕЙ

Методичні рекомендації
для студентів спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія»

Коректор *О. В. Анцибора*
Комп'ютерне верстання *В. В. Савінкова*
Макет обкладинки *І. М. Дончик*

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 1,67. Наклад 50 пр. Зам. № 86/24.

Видавець і виготовлювач
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,
61022, м. Харків, майдан Свободи, 4.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3367 від 13.01.2009
Видавництво ХНУ імені В. Н. Каразіна