



НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
"КИЄВО-МОГИЛЯНСЬКА АКАДЕМІЯ"

# НАУКОВІ

**ТОМ 18**

2000 р.

*Замиски*

Біологія  
та екологія



LABARVM Triumphale TRIADOS  
per Tru Diuinitissimos Tutelares adidra  
Kioora Mohiliana Palladis Militantibus  
in Christo Patris P: Procopii Kotaczynski  
E messissimi intra ferias a diuinitissimo suo

PRÆSENTATVM.

Trino Virtutu Theologiaru Choro  
to Illustre sub Signis Alma Orthodoxe  
Præfixum Ac natalis Reuerentissimi  
eigdem Almi Orthodoxi Collegii Rectoris  
Innocentio Szczyrski. monacho O.D.B:

Quæ Vexilla micat? tonat eiquis classica Maurus? Spes, A

Fides, referunt quas Stemate Diui:

## ЗМІСТ

<i>Безусько Л. Г., Безусько А. Г.</i> ДО ПИТАННЯ ПРО ПОШИРЕННЯ ЛІСІВ У НИЖНЬОМУ ПОДНІ- ПРОВ'І У ПІЗНЬОМУ ГОЛОЦЕНІ (за палінологічними даними) .....	4
<i>Безусько Т. В., Мартинюк О. О., Попович С. Ю.</i> ДЕЯКІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ПИЛКУ RHODODENDRON LUTEUM SWEET (ERICACEAE) ФЛОРИ УКРАЇНИ ДЛЯ ЦІЛЕЙ СПО- РОВО-ПИЛКОВОГО АНАЛІЗУ .....	12
<i>Савцова З. Д., Джаман Н. І., Воєйкова І. М., Юдіна О. Ю.</i> ВИВЧЕННЯ В ЕКСПЕРИМЕНТІ ОСОБЛИ- ВОСТЕЙ ІМУНОМОДУЛЮЮЧОЇ ДІЇ МАЛИХ ДОЗ РАДІАЦІЇ ПРИ ФОРМУВАННІ РІЗНИХ ДО- ЗОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ .....	18
<i>Савцова З. Д., Меньок Т. А., Джаман Н. І., Воєйкова І. М., Ковбасюк С. А., Мосієнко В. С.</i> ДОЗОЗА- ЛЕЖНІСТЬ ВПЛИВУ ІМУНОМОДУЛЯТОРА МІКРОБНОГО ПОХОДЖЕННЯ НА ДИСКРЕТНІ ПОКАЗНИКИ КРОВІ ТА ЛІМФОЇДНИХ ОРГАНІВ ОПРОМІНЕНИХ ТВАРИН .....	25
<i>Кузьменко І. В., Даценко З. М., Донченко Г. В., Дмитренко Т. В., Кліменко К. П., Нечитайло Л. О., Кривенко О. М.</i> ЗМІНИ ЛІПІДНОГО СКЛАДУ ТА АКТИВНОСТІ ФЕРМЕНТІВ АНТИОКСИ- ДАНТНОГО ЗАХИСТУ ОРГАНІЗМУ У МІКРОСОМАХ ПЕЧІНКИ ЩУРІВ ПРИ ДІЇ ВІТАМІ- НУ Е ТА ЙОГО ПОХІДНИХ .....	31
<i>Кучменко О. Б.</i> ЗМІНИ ЛІПІДНОЇ СТРУКТУРИ ПЛАЗМАТИЧНИХ МЕМБРАН КАРДІОМІОЦИ- ТІВ ЗА УМОВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО АТЕРОСКЛЕРОЗУ .....	36
<i>Романенко В. Д.</i> ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ДНІПРА ТА ЇХ КОМПЛЕКСНЕ ВИРІШЕННЯ .....	41
<i>Вишеньська І. Г.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЯВІВ КИСНЕВОГО ЕФЕКТУ У ХРОНІЧНО ОПРОМІНЕ- НОГО НАСІННЯ ГОРОХУ .....	44
<i>Боголюбов В. М., Замостьян В. П., Серeda Л. І.</i> АНАЛІЗ ТЕСТОВИХ ЗАВДАНЬ ПРИ ФІНАЛЬНО- МУ КОНТРОЛІ РІВНЯ ЗНАТЬ З ЕКОЛОГІЧНИХ ДИСЦИПЛІН .....	47
<i>Карпенко В. І., Коростинська О. С., Лошицький П. П., Ніколов М. О.</i> ВПЛИВ ЕЛЕКТРОМАГНІТ- НИХ ПОЛІВ НЕТЕПЛОВОЇ ІНТЕНСИВНОСТІ НА АКТИВНІСТЬ БІОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ .....	51
<i>Котинський А. В., Салюк А. І., Нікулін О. Ф., Карпенко В. І.</i> ВПЛИВ СВІТЛОВИХ УМОВ КУЛЬ- ТИВУВАННЯ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ МІКРОВОДОРОСТІ SPIRULINA PLATENSIS ПРИ ВИРОЩУВАННІ ЇЇ У ПЛОЩИННОМУ АЕРЛІФТНОМУ ФОТОБІОРЕАКТОРІ ЗАКРИТОГО ТИПУ .....	56
<i>Лось І. П., Осадча О. М.</i> ОСНОВНІ НАПРЯМИ РОЗРОБКИ НАЦІОНАЛЬНОЇ ПРОТИРАДОНОВОЇ ПРОГРАМИ .....	63
<i>Замостьян П. В.</i> АНАЛІЗ РАДІАЦІЙНО-ГІГІЄНИЧНОЇ СИТУАЦІЇ ТА РЕАЛІЗОВАНИХ ПРОТИ- РАДІАЦІЙНИХ ЗАХОДІВ НА ТЕРИТОРІЇ ПІВНІЧНИХ РАЙОНІВ РІВНЕНСЬКОЇ ОБЛАСТІ .....	67
<i>Ісаєв С. Д., Янишпольська В. В., Петухов І. С.</i> ДОСВІД СОРТУВАННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ У МІСТІ КИСВІ .....	73
<i>Ісаєв С. Д., Плугатир А. Є., Ісаєва С. С., Кульомін Г. П., Харченко Т. Ф.</i> КІЛЬКІСНА ОЦІНКА МІ- ГРАЦІЇ СТИРЕНУ У ВОДУ З ПОЛІСТИРЕНОВОГО ПОСУДУ .....	77
<i>Романюк В. Л.</i> ВМІСТ Fe, Cu та Zn У ХВОРИХ НА ЗОБ ТЕЛЯТ З РАДІОАКТИВНО ЗАБРУДНЕ- НОГО ГОСПОДАРСТВА .....	82
<i>Чекман І. С., Французова С. Б., Горчакова Н. О., Антоненко Л. І., Ткаченко О. П., Олійник С. А., Ніженковська І. В.</i> ВПЛИВ СУФАНУ ПРИ СУБЛІНГВАЛЬНОМУ ВВЕДЕННІ НА КАРДІОГЕМО- ДИНАМІКУ КРОЛІВ У НОРМІ ТА ПРИ ГЕМІЧНІЙ ГІПОКСІЇ .....	87
<i>Нарбут А. В., Бичкова Н. Г., Вишневецький О. В., Марушко Ю. В.</i> ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ІМУНОТРОПНИХ ПРЕПАРАТІВ В ЕКОЛОГІЧНО НЕСПРИЯТЛИВИХ УМОВАХ .....	91
ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ .....	95

## ВПЛИВ СВІТЛОВИХ УМОВ КУЛЬТИВУВАННЯ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ МІКРОВОДОРОСТІ *SPIRULINA* *PLATENSIS* ПРИ ВИРОЩУВАННІ ЇЇ У ПЛОЩИННОМУ АЕРЛІФТНОМУ ФОТОБІОРЕАКТОРІ ЗАКРИТОГО ТИПУ

*Вивчено вплив світлових і температурних режимів культивування на ріст і накопичення біомаси культурою *Spirulina platensis* при вирощуванні її у площинному аерліфтному фотобіореакторі закритого типу. Встановлено оптимальний рівень освітленості культури в поєднанні з температурою суспензії, при яких спостерігається найбільше накопичення біомаси спіруліни. Введено і встановлено вплив специфічного для розробленого реактора коефіцієнта періодичності на продуктивність, вміст білка та хлорофілу у біомасі спіруліни.*

### **Вступ**

Останнім часом у зв'язку з проблемою низької поживної цінності продовольства зростає інтерес до нових нетрадиційних джерел біологічно активних сполук. Серед фотосинтезуючих організмів, які з успіхом можуть застосовуватися в якості продуцентів біологічно активних речовин, особливе місце посідають мікродорості і, в першу чергу, *Spirulina*.

*Spirulina* — це мікроскопічна синьозелена мікродорість. Вона належить до специфічної групи організмів, які розглядаються відособлено у таксономічному і філогенетичному відношеннях. Лабільність метаболізму і висока ступінь пристосованості до умов навколишнього середовища дозволили цим організмам, першим оксигенним фотосинтетикам, витримати всі кліматичні зміни на планеті.

Існує два основних види *Spirulina*: африканська ціанобактерія *Spirulina platensis* і мексиканська *Spirulina maxima*. Ці водорості з давніх часів використовуються аборигенами ряду районів Центральної Африки (Республіка Чад), Південної Америки, Мексики (озеро Тексоко) та Азії в їжу.

Види *Spirulina* містять унікальний комплекс компонентів, необхідних організму людини, в тому числі легко засвоюваний білок, вільні незамінні амінокислоти, вітаміни, широкий набір мікроелементів та мінеральних солей, поліненасичені жирні кислоти, пігменти тощо [1, 2—5].

У ряді країн світу (США, Японія, Таїланд) спіруліну використовують для одержання ряду медичних препаратів (онкопротекторів, вітамінів, простогландинів, сорбентів), а також як до-

даткове джерело харчових та лікувально-профілактичних продуктів для дорослих і дітей.

Спіруліна є найбагатшим джерелом повноцінних білків, кількість яких досягає 70 % сухої біомаси, має добре збалансований амінокислотний склад, містить всі незамінні амінокислоти. Спіруліна має достатньо високий вміст ліпідів, який залежно від умов культивування змінюється в межах від 5 до 16 % сухої біомаси, характеризується значним вмістом ненасичених жирних кислот, зокрема  $\gamma$ -ліноленової, яка становить приблизно чверть від всієї кількості ліпідів. Вміст та співвідношення інших жирних кислот — ліпідна фракція біомаси відповідає вимогам до жирів харчової цінності. У спіруліні міститься всього 15—25 % вуглеводів, переважно у вигляді рамнози та крохмалю. Біомаса спіруліни дуже багата на вітаміни, особливо групи В, зокрема: тіамін, рибофлавін, ніацин, біотин, піридоксин, ціанкобаламін, а також на  $\beta$ -каротин,  $\alpha$ -токоферол, аскорбінову, нікотинову, пантотенову та фолієву кислоти. Спіруліна — найбагатший на  $\beta$ -каротин продукт, вміст його у 10 разів вищий, ніж у моркві.

Спіруліна — єдина з ціанобактерій, яка широко вирощується для одержання пігментів. Спіруліна синтезує унікальні пігменти фікобілінової природи, переважно фікоціанін і алофікоціанін. Фікоціанін, одержаний із спіруліни, стимулює ріст клітин, підвищує імунітет та опірність організму раковим захворюванням, є одним з кращих радіопротекторів — поглинає до 40 % радіоактивного цезію і стронцію з організму людини. В спіруліні міститься також значна кількість хлорофілу. Хлорофіл іноді називають “зе-

леною кров'ю" завдяки тому, що його структура подібна до молекули гемоглобіну крові людини, з тією різницею, що кров містить залізо, що надає червоного забарвлення, а хлорофіл містить магній, що дає зелене забарвлення. Фікоціанін виник на 1 млрд. років раніше за хлорофіл і гемоглобін. В його молекулярній кільцевій структурі були магній та залізо, і тому припускають, що фікоціанін міг бути джерелом життя рослин і тварин на Землі.

Спіруліна містить широкий набір ферментів. Ферменти, як відомо, є каталізаторами специфічних реакцій в організмі. Одним з найбільш важливих ферментів, що міститься в спіруліні, є супероксиддісмутаза, яка поглинає вільні радикали, сповільнює старіння клітин.

У процесі росту спіруліна поглинає значну кількість макро- і мікроелементів, необхідних для нормального перебігу обмінних процесів в організмі. Спіруліна є найбагатшим джерелом заліза. В 100 г спіруліни міститься до 150 мг заліза, причому воно, як і інші мінерали, перебуває в органічній формі, яка легко засвоюється організмом людини. Хоча спіруліна маловідома як джерело кальцію, однак кальцію в ній більше, ніж у молоці (в 100 г спіруліни міститься до 1000 мг кальцію). До складу біомаси спіруліни входять йодисті сполуки: тироксин і трийодтиронін, які мають високу фізіологічну активність, є гормональною основою тваринного організму, синтезуються всередині молекули тиреоглобуліну — основного білка щитовидної залози тварини та людини.

Завдяки своїм властивостям й унікальному біохімічному складу спіруліна широко використовується у харчовій промисловості для виробництва високобілкових, вітамінізованих харчових домішок, харчових біобарвників, концентратів амінокислот, ряду біологічно активних речовин.

У сільському господарстві спіруліну використовують як кормову високобілкову вітамінізовану домішку при годівлі птиці, риби, худоби, як біостимулятор та регулятор росту.

Продукти переробки спіруліни використовують у косметології та медицині. У косметології їх використовують у вигляді барвників, кремів, паст, емульгаторів, гелеутворювачів, миючих засобів.

У медицині спіруліну використовують як сировину для одержання ліків, які стимулюють імунну систему, покращують функції органів шлунково-кишкового тракту, сприяють виведенню радіонуклідів з організму, стимулюють білково-вуглеводний обмін речовин, активують окисно-відновні реакції, запобігають розвитку онкологічних захворювань та вірусу СНІДу.

Деякі підприємства України вирощують спіруліну як харчову домішку, однак технологія її вирощування відкритим способом застаріла. Ця технологія не відповідає сучасним вимогам енергозбереження та санітарії, тому розробка високоефективних технологій механізованого вирощування спіруліни є одним з важливих господарських завдань. Розробка сучасної технології вирощування спіруліни в закритих фотобіореакторах значно зменшить енерговитрати виробництва та виведе на якісно новий рівень технологію вирощування при безумовному дотриманні санітарних та біологічних вимог виробництва.

Метою даної статті було дослідження основних технологічних параметрів культивування та їх вплив на продуктивність і вміст деяких біологічно активних сполук спіруліни у розробленій установці площинного аерліфтного фотобіореактора закритого типу.

#### Матеріали і методи

Об'єктом досліджень була альгологічно чиста культура трихомної ціанобактерії *Spirulina platensis* (Gom) Geitl. штам ЛГУ-603.

Культуру спіруліни вирощували у розробленому нами [6, 7] площинному аерліфтному фотобіореакторі закритого типу. Цей фотобіореактор дозволяє збільшувати продуктивність, одержувати механічно неушкоджену, альгологічно чисту біомасу міководорості, інтенсифікувати процес біосинтезу, пришвидшити ріст культури завдяки: повній ізоляції культури від зовнішнього середовища; безнасосному перемішуванню і транспортуванню суспензії; використанню аерліфтною системи транспортування суспензії; повністю контрольованій гідродинаміці; постійному видаленню газоподібних продуктів метаболізму, зокрема кисню, із середовища; тонкому прошарку суспензії у робочій зоні реактора; ефективному введенню світла у суспензію міководорості; розвиненій поверхні для фотосинтезу.

Використовувалося модифіковане живильне середовище Заррука [8]. Процес культивування спіруліни відбувався у накопичувальному режимі упродовж 120 год. РН середовища підтримувалося у межах 10...10,5. Засів реактора проводили 5...6-добовою суспензією спіруліни густиною 0,6—0,7 г АСБ/л у кількості 45—50 % від загального об'єму для утворення початкової концентрації 0,3 г АСБ/л. Необхідне освітлення створювали зовнішнім бічним підсвічуванням лампами типу ДРЛ-250 та ДРЛ-400. Використовувалося тільки штучне освітлення.

У процесі культивування визначали: абсолютно суху біомасу (АСБ) спіруліни [9]; вміст білка — за біуретовою реакцією [10]; кількість хлорофілу — за Годневим [11]. Статистичну оброб-

ку одержаних результатів проводили за критерієм Стьюдента [12].

### Результати та їх обговорення

#### 1. Визначення оптимального режиму освітлення та температури

На першому етапі роботи визначали вплив освітленості та температури суспензії на ріст та продуктивність спіруліни. Відомо [13, 8], що продуктивність та біохімічний склад спіруліни в умовах різного світлового та температурного режимів визначаються поєднанням цих двох факторів.

Культивування здійснювали у площинному фотореакторі з загальним об'ємом 16,5 л, об'єм світлової зони — 5,5 л. Вплив температурних та світлових умов на характер росту та продуктивність спіруліни вивчали при температурі 28,0; 33,0; 38,0 °С та освітленості 5,0; 8,0; 11,0 кЛк. Температуру підтримували з точністю до 1,5 °С, освітленість — з точністю до 0,2 кЛк.

Визначено, що характер впливу досліджених температур на ріст та продуктивність спіруліни має певні особливості. В усіх дослідях накопичення біомаси відбувалося протягом усього циклу вирощування, але значно залежало від рівня освітленості.

Таблиця 1

Продуктивність спіруліни залежно від температури та інтенсивності освітлення при періодичному режимі культивування

Умови досліджу		Концентрація біомаси, гАСБ/л
Інтенсивність освітлення, кЛк	Температура, °С	
5,0	28,0	1,11±0,07
	33,0	1,37±0,07
	38,0	1,29±0,06
8,0	28,0	1,63±0,07
	33,0	1,81±0,08
	38,0	1,58±0,08
11,0	28,0	1,42±0,08
	33,0	1,63±0,09
	38,0	1,25±0,08

Як бачимо з табл. 1, при інтенсивності освітлення 8,0 кЛк спостерігається найкращий ріст та найбільша продуктивність при всіх досліджених температурах. У всіх випадках найбільша температура 38,0 °С мала найбільш негативний вплив на продуктивність і накопичення біомаси.

Максимальна продуктивність спіруліни спостерігалася при температурі 33,0 °С для всіх інтенсивностей освітлення, тому її можна прийняти за оптимальну.

При найменшій з досліджених освітленостей 5,0 кЛк продуктивність при збільшенні температури зростала до 1,33 гАСБ/л. При найбільшій освітленості 11,0 кЛк продуктивність була найбільшою при збільшенні температури до 33 °С і становила 1,57 гАСБ/л, але при температурі 38 °С відбувався різкий спад до 1,25 гАСБ/л, що пов'язано з пригніченням фотосинтетичного апарату клітин спіруліни високою температурою та освітленістю.

Температура не мала значного впливу на продуктивність тільки при освітленості 8,0 кЛк, хоча при температурі 38 °С відмічалася незначне зниження продуктивності — на 9 %. При збільшенні рівня освітленості збільшувалася негативна дія високої температури в усіх випадках.

У табл. 2 наведено дані про вплив температури на накопичення білка та хлорофілу при оптимальній освітленості 8,0 кЛк. Показано, що при збільшенні температури до 33 °С одночасно з підвищенням продуктивності зростає вміст білка і хлорофілу. Порівняно з показниками при 28 °С, вміст хлорофілу збільшився на 15 %, а білка — на 9,7 %. Це вказує на те, що при температурі 33 °С інтенсифікуються фотосинтетичні процеси.

Подальше збільшення температури до 38 °С дуже негативно позначається на вмісті хлорофілу: порівняно з показником при температурі 33 °С його вміст падає на 22,2 %, вміст білка при цьому незначно зменшується.

Збільшення освітленості з 5,0 до 8,0 кЛк (при температурі 33 °С) призводить до збільшення продуктивності і вмісту білка відповідно на 32,1 і 9,3 %. Подальше збільшення освітленості до 11,0 кЛк пригнічує процес росту спіруліни, що виражається у зменшенні продуктивності та вмісту білка порівняно з відповідними показниками при освітленості 8,0 кЛк (табл. 3).

З табл. 3 видно, що збільшення освітленості негативно впливає на вміст хлорофілу. Порівняно з показником при освітленості 5,0 кЛк, при збільшенні освітленості до 8,0 кЛк вміст хлорофілу знижується всього на 3,6 %, при збільшенні до 11,0 кЛк — на 26 %.

Дослідження вмісту деяких вітамінів та каротиноїдів залежно від рівня освітленості показало (табл. 4), що при збільшенні освітленості вміст ціанкобаламіну та каротиноїдів знижується, а вміст  $\alpha$ -токоферолу й аскорбінової кислоти збільшується. З табл. 4 видно, що при збільшенні освітленості від 5,0 до 11,0 кЛк вміст ціанкобаламіну знизився у 42,7 раза, а вміст каротиноїдів — у 3,6 раза. Вміст  $\alpha$ -токоферолу і аскорбінової кислоти при збільшенні освітленості з 5,0 до 11,0 кЛк збільшується відповідно у 3,2 і 5,3 раза. Отже, збільшення освітленості до 11,0 кЛк

Таблиця 2

Вплив температури середовища на продуктивність, вміст білка та хлорофілу у біомасі спіруліни при періодичному режимі культивування

Температура, °С	Продуктивність, гАСБ/л	Вміст білка, %	Вміст хлорофілу, %
28,0±1,0	1,63±0,07	52,6±1,21	1,88±0,06
33,0±1,0	1,81±0,08	57,7±1,01	2,16±0,09
38,0±1,0	1,56±0,08	54,1±1,23	1,68±0,09

Таблиця 3

Вплив освітленості на продуктивність, вміст білка та хлорофілу у біомасі спіруліни при періодичному режимі культивування

Освітленість, кЛк	Продуктивність, гАСБ/л	Вміст білка, %	Вміст хлорофілу, %
5,0	1,37±0,07	52,8±1,24	2,24±0,07
8,0	1,81±0,08	57,7±1,01	2,16±0,09
11,0	1,63±0,09	49,6±1,15	1,66±0,10

Таблиця 4

Вміст деяких вітамінів у біомасі спіруліни в залежності від освітленості

Умови	Вміст ціанкобаламіну, мкг/100г	Вміст α-токоферолу, мг/100г	Вміст аскорбінової кислоти, мг/100г	Вміст каротиноїдів, мг/100г
5,0 тис. люкс	42,94±0,15	20,8±0,10	23,2±0,07	0,457±0,06
8,0 тис. люкс	9,13±0,07	32,0±0,09	87,4±0,06	0,237±0,03
11,0 тис. люкс	0,92±0,08	66,0±0,12	122,7±0,09	0,126±0,04

при даних умовах культивування значно пригнічує процес біосинтезу ціанкобаламіну і каротиноїдів та інтенсифікує процес накопичення α-токоферолу й аскорбінової кислоти.

Досліджуючи приріст біомаси залежно від освітленості протягом всього періоду культивування, було встановлено, що пригнічення росту біомаси при різній інтенсивності освітлення спостерігається при різних концентраціях біомаси (табл. 5). При освітленості 5,0 кЛк практично відразу з початку культивування відбувається стрімкий ріст спіруліни, але після того, як щільність суспензії досягає приблизно 1,0 г АСБ/л, продуктивність падає. Це можна пояснити тим, що клітинам вже недостатньо світлової енергії. Найбільший приріст біомаси при 5,0 кЛк відбувався на 24-ту годину культивування. При найбільшій з досліджуваних освітленості 11,0 кЛк у перші 12 годин культивування спостерігається деяке пригнічення росту внаслідок значного освітлення.

За цей час спіруліна поступово адаптувалася до такого освітлення. При 11,0 тис. люкс спіруліна за весь час культивування не змогла наростити біомаси більше, ніж при 8,0 кЛк, хоча і мала найбільший приріст, порівняно з приростами при інших освітленостях, на 36-ту годину культивування. Ріст спіруліни при 8,0 кЛк був більш стабільним і зменшувався після 96-ї години культивування.

При збільшенні освітленості зона пригнічення росту піднімається в область вищих концентрацій біомаси, але при цьому туди ж піднімається і зона максимального приросту біомаси при даній освітленості. Вибравши ділянки кривої з найбільшим приростом при даній освітленості, будемо криву регулювання освітленості суспензії спіруліни залежно від її концентрації (рис. 1, табл. 6).

Ця крива (рис. 1) є графічним відображенням закону регулювання освітленості суспензії в системі автоматизації процесу вирощування спіруліни.

У структурі автоматизації процесу вирощування спіруліни завдання контролю і регулювання освітленості суспензії зводиться до встановлення мінімальної освітленості на початковому етапі процесу вирощування з подальшим поступовим збільшенням освітленості залежно від збільшення концентрації біомаси в суспензії.

Якщо узагальнену криву росту спіруліни перенести в іншу систему координат, одержимо графічне відображення закону регулювання освітленості спіруліни залежно від її концентрації в суспензії в системі автоматичного вирощування (рис. 2).

Таким чином, при культивуванні у площинному фотореакторі визначені оптимальні температури та освітленість. Найбільші приріст біомаси, вміст білка та хлорофілу спостерігалися

Динаміка росту і приріст біомаси спіруліни при періодичному режимі культивування залежно від освітленості

Час, год.	Освітленість культури, кЛк								
	5,0			8,0			11,0		
	Продуктивність, г АСБ/л	Приріст біомаси, г АСБ/л		Продуктивність, г АСБ/л	Приріст біомаси, г АСБ/л		Продуктивність, г АСБ/л	Приріст біомаси, г АСБ/л	
Абсолютне значення, г		Процентне відношення, %	Абсолютне значення, г		Процентне відношення, %	Абсолютне значення, г		Процентне відношення, %	
0	0,3	-	-	0,3	-	-	0,3	-	-
12	0,51	0,21	70,00	0,4	0,10	33,33	0,34	0,04	13,33
24	0,75	0,24	47,06	0,59	0,19	47,50	0,46	0,12	35,30
36	0,99	0,24	32,0	0,79	0,20	33,90	0,72	0,26	56,50
48	1,15	0,16	16,16	1,03	0,24	30,40	1,03	0,31	43,05
60	1,24	0,09	7,80	1,27	0,24	23,30	1,24	0,24	32,30
72	1,3	0,06	4,84	1,49	0,22	17,30	1,42	0,18	14,52
84	1,33	0,03	2,31	1,64	0,15	10,10	1,53	0,12	8,45
96	1,35	0,02	1,50	1,73	0,09	5,49	1,58	0,05	3,27
108	1,36	0,01	0,74	1,79	0,05	2,87	1,61	0,03	1,90
120	1,37	0,01	0,73	1,81	0,02	1,12	1,63	0,02	1,24

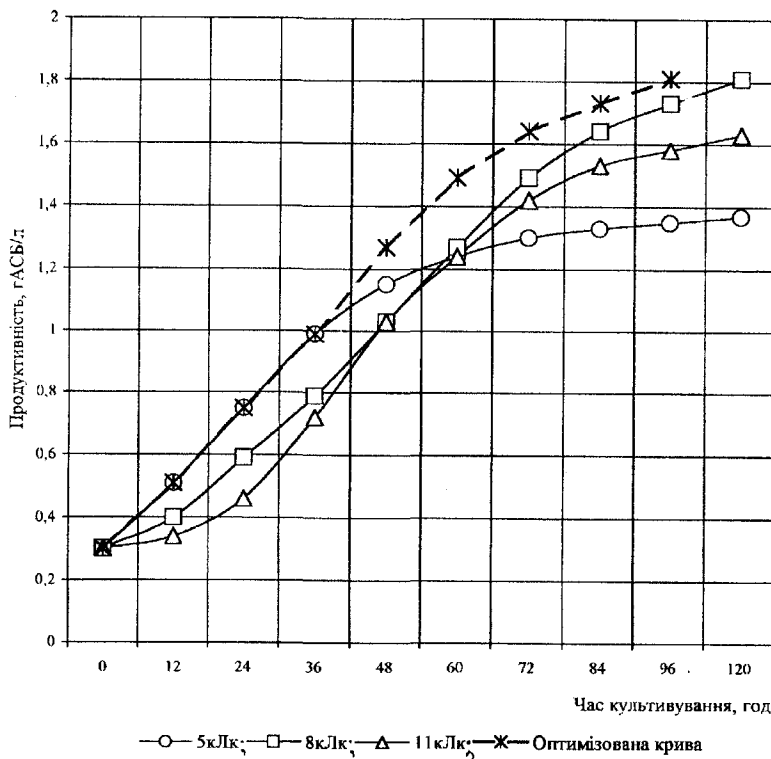


Рис. 1. Динаміка росту спіруліни залежно від рівня освітленості

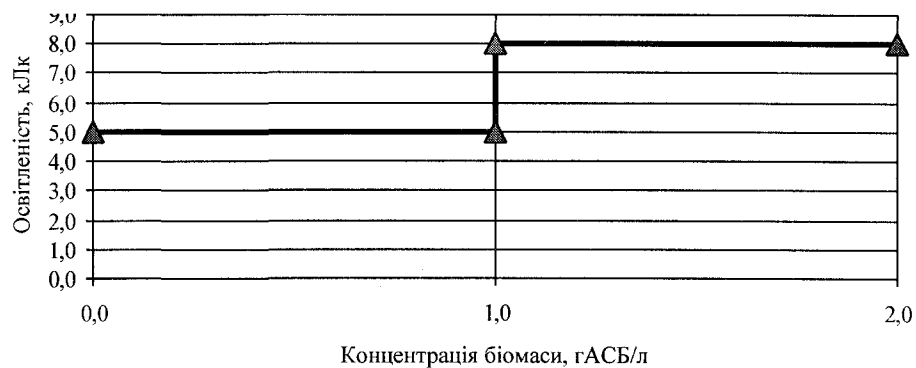


Рис. 2. Регулювання освітленості залежно від концентрації біомаси у суспензії

при температурі 33 °С та освітленості 8,0 кЛк. Одержано криву регулювання освітленості залежно від щільності суспензії. Поступово збільшуючи освітленість відповідно до концентрації АСБ у суспензії, можна пришвидшити ріст культури.

## 2. Визначення оптимального об'єму темної зони реактора

Однією з особливостей розробленого фотобіореактора є неможливість збільшення швидкості руху суспензії у робочій зоні реактора. При збільшенні швидкості руху суспензії збільшується загальний час перебування культури на світлі. Конструкція реактора передбачає можливість регулювати цей час за допомогою накопичувальної місткості, в якій культура знаходиться у стадії темного росту. Змінюючи об'єм накопичувальної місткості, можна регулювати час світлового росту культури. При збільшенні об'єму зменшується час перебування спіруліни на світлі і навпаки. Тому на другому етапі роботи виникла необхідність визначення оптимального об'єму системи. Для цього було введено новий показник — коефіцієнт періодичності —  $F_p$ , який відображає відношення загального об'єму реактора до об'єму його світлової зони (робочої панелі):

$$F_p = V_{\Sigma} / V_R,$$

де  $V_{\Sigma}$  — загальний об'єм реактора, м<sup>3</sup>,  $V_R$  — об'єм світлової зони (робочої панелі), м<sup>3</sup>.

Культивування здійснювали при коефіцієнтах періодичності — 1,5; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0. Процес відбувався у періодичному режимі за таких умов:

освітленість —  $8,0 \pm 0,2$  кЛк; температура —  $33 \pm 1,5$  °С; час культивування — 120 год. Результати дослідження наведені у табл. 7.

З табл. 7 видно, що при збільшенні темного об'єму реактора знижується продуктивність і вміст білка та хлорофілу. Так, при коефіцієнті періодичності 1,5 спостерігається максимальна продуктивність спіруліни — 2,88 г АСБ/л, при цьому вміст білка та хлорофілу порівняно з показниками при всіх інших коефіцієнтах так само найбільший і становить, відповідно, 66,5 та 2,58 % АСБ. Аналізуючи приріст біомаси, бачимо, що зі збільшенням коефіцієнта періодичності з 1,5 до 3,0 продуктивність спіруліни стрімко зменшується, а при коефіцієнті вище 3,0 цей процес уповільнюється. Така ж сама залежність спостерігається і у хлорофілу та білка.

Таким чином, доходимо висновку, що для збільшення продуктивності треба зменшувати об'єм темної зони, але надмірне зменшення призведе до зниження загального об'єму реактора, що знизить валову продуктивність. Значить, для одержання найбільшої валової продуктивності культивування у площинному аерліфтному фотобіореакторі доцільно проводити при коефіцієнті періодичності в межах 2,0...2,5.

Отже, при культивуванні спіруліни у площинному аерліфтному фотобіореакторі закритого типу для одержання найбільшої продуктивності спіруліни зі значним вмістом білка та хлорофілу необхідно дотримуватися таких умов культивування: температура суспензії —  $33,0 \pm 1,5$  °С; інтенсивність освітлення —  $8,0 \pm 0,2$  кЛк, коефіцієнт періодичності — 2...2,5.

Таблиця 6

Таблиця даних оптимізованої кривої росту спіруліни

Час культивування, год									
0	12	24	36	48	60	72	84	96	108
Освітленість 5,0 кЛк					Освітленість 8,0 кЛк				
Щільність суспензії спіруліни, г АСБ/л									
0,3	0,51	0,75	0,99	1,27	1,49	1,64	1,74	1,79	1,81

Таблиця 7

Вплив коефіцієнта періодичності на продуктивність, вміст білка та хлорофілу у біомасі спіруліни при періодичному режимі культивування

Загальний об'єм реактора, л	Коефіцієнт періодичності	Продуктивність, г АСБ/л	Вміст білка, % АСБ	Вміст хлорофілу, % АСБ
8,250	1,5	2,88±0,09	66,5±1,22	2,58±0,08
11,000	2	2,40±0,07	61,8±1,12	2,47±0,06
16,500	3	1,81±0,08	57,7±1,01	2,16±0,09
22,000	4	1,58±0,06	56,5±1,08	1,73±0,06
27,500	5	1,49±0,06	55,3±1,04	1,65±0,06

## Висновки

Визначено оптимальні значення температури та освітленості при культивуванні у площинному аерліфтному фотореакторі закритого типу. Найбільші приріст біомаси, вміст білка та хлорофілу спостерігаються при температурі суспензії 33 °C та освітленості 8,0 кЛк. Одержано криву регулювання освітленості залежно від щільності суспензії. Поступово збільшуючи освітленість залежно від концентрації АСБ у суспензії, можна пришвидшити ріст культури.

1. Рудик В. Ф. Биотехнологические основы получения биомассы микроводорослей и перспективы ее применения: Дис. ... д-ра. биол. наук. — Молд. гос. ун-т. — Кишинев, 1990. — 363 с.

2. Усов А. И., Чижов О. С. Химические исследования водорослей. — М.: Знание, 1988. — 48 с. (Новое в жизни, науке, технике. Сер. Химия, № 5).

3. Campanella L., Crescentini G, Avino P. Chemical composition and nutritional evaluation of some natural and commercial food products based on *Spirulina* // *Analysis*. — 1999. — 27, N 6. — P. 533—540.

4. Dumartrait E., Moysse A. Caractéristiques biologiques des *Spirulines* // *Ann. nutr. et alim.* — 1975. — 29, N 6. — P. 489—496.

5. Henrikson R. Earth food spirulina. — California: Ronore Enterprises, Inc., 1989. — P. 25—42.

6. Котинський А. В., Салюк А. І., Нікулін О. Ф. Культивування мікрроводоростей роду *Spirulina*. (Перше повідомлення) // *Харчова промисловість*. — 2000. — 45. — С 34—43.

7. Котинський А. В., Салюк А. І., Нікулін О. Ф. Площинний аерліфтний фотобіореактор закритого типу для культивування фототрофної мікрроводорості *Spirulina platensis* // *Харчова промисловість*. — 2000. — 46. — С. 67—79.

Введено новий коефіцієнт, який характеризує технологічні та конструктивні особливості розробленого площинного аерліфтного фотобіореактора — коефіцієнт періодичності  $F$  який відображає відношення загального об'єму реактора до об'єму його світлової зони. Визначено, що для одержання найбільшої валової продуктивності культивування у площинному аерліфтному фотобіореакторі доцільно проводити при коефіцієнті періодичності в межах 2,0...2,5.

8. Михайлов А. А., Верзилин Н. Н., Пиневич В. В., Шаренкова Х. А. Изучение *Spirulina platensis* — нового объекта для высокоинтенсивного культивирования // *Биологические науки*. — 1972. — № 2. — С. 67—73.

9. Рудик В. Ф., Гудумак В. С Усовершенствование способа определения абсолютно сухой биомассы спирулины / Кишин. гос. ун-т. — Кишинев, 1989. — 6 с. — Библиогр. — Деп. в Молд. НИИ НТИ 22.02.89 № 1085-М89.

10. Паллади А. В., Кирсенко О. В. Аденозинтрифосфатаза в различных клеточных фракциях головного мозга // *Биохимия*. — 1961. — 26, № 2. — С. 385—390.

11. Петров К. П. Методы биохимии растительных продуктов. — Киев: Вища школа, 1978. — С. 161—162.

12. Ойвин И. А. Статистическая обработка результатов экспериментальных исследований // *Патол. физиология и терапия*, — 1960. — № 4. — С. 76—81.

13. Альбицкая О. Н., Зайцева Г. Н., Пахомова М. В., Горонкова О. П., Салакова Г. С, Ермохина Т. М. Физиолого-биохимические особенности культуры *Spirulina platensis* // *Микробиология*. — 1974. — Т. 43. — Вып. 6. — С. 649—653.

*Kotinsky A. V., Salyuk A. I.,  
Nikulin A. F., Karpenko V. I.*

## DOMINANCE OF LIGHT GROWTH CULTIVATION CONDITIONS ON PRODUCTIVITY MICROALGAE SPIRULINA PLATENSIS ATTACHED TO GROWING OF HER IN PLATE AIRLIFT PHOTOBIOREACTOR CLOSED TYPE

Dominance of light and temperature conditions of cultivation on growth and accumulation biomass by culture *Spirulina platensis* attached to growing of her in plate airlift photobioreactor of closed type is studied. The optimum culture illumination level in combination with temperature of medium attached to which most biomass accumulation *Spirulina* is established. Introduced and studied dominance specific for worked up reactor, coefficient of periodicity on productivity, contained of protein and chlorophyll in biomass of *Spirulina*.