

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Огороднік Надія Василівна

УДК: 639.2.03
(індекс)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Бактеріальна трансформація органічних речовин за
гетеротрофного живлення фітопланктону в
Житомирському водосховищі**

207 Водні біоресурси та аквакультура
(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

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

Н.В. Огороднік
(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

Світельський Микола Михайлович
(прізвище, ім'я, по-батькові)

кандидат сільськогосподарських наук, доцент
(науковий ступінь, вчене звання)

Житомир – 2024

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
кандидат с.-г. наук, доцент
Світельський М.М.

«23» вересня 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Огороднік Надії Василівни

(прізвище, ім'я, по-батькові здобувача вищої освіти в родовому відмінку)

207 – Водні біоресурси та аквакультура

1.Тема кваліфікаційної роботи: Бактеріальна трансформація органічних речовин за гетеротрофного живлення фітопланктону в Житомирському водосховищі

Затверджена наказом № 1531/ст від 02.10.2024

2.Термін подання роботи «01» грудня 2024 р.

3.Предмет дослідження: виділення РОР природним фітопланктоном, споживання угрупованням фіто- і бактеріопланктону низько- і високомолекулярних органічних речовин, ферментативна активність (на прикладі протеолітичної) у прісноводних водоймах і культурах водоростей.

4.Об'єкт дослідження: показники виділення РОР природним фітопланктоном, споживання угрупованням фіто- і бактеріопланктону низько- і високомолекулярних органічних речовин, параметри протеолітичної та гетеротрофної активності альгологічно і бактеріально чистих культур деяких

синьо-зелених (ціанобактерій) і зелених водоростей та в культурах бактерій (на прикладі *Bacillus subtilis*).

5.Методи дослідження _____

6.Інформаційна база дослідження _____

7.Зміст роботи (перелік питань, які потрібно було розробити) _____

8.Перелік графічного матеріалу _____

9.Дата видачі завдання «23» вересня 2023 р.

Керівник роботи : _____ к. с.-г. н., доцент Світельський Микола Михайлович
(підпис) (науковий ступінь, вчене звання) (прізвище, ім'я, по-батькові)

Завдання прийняв до виконання _____ Огороднік Надія Василівна
(підпис) (прізвище, ім'я, по-батькові)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН РОБОТИ

№ п/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання	Примітки
1.	Виконання аналітичного огляду фахової літератури та обґрунтування обраного напрямку досліджень	Вересень 2023– грудень 2023 р.	Виконано
2.	Розроблення програми досліджень, календарного плану їх виконання та освоєння методики проведення досліджень	Січень – березень 2024 р	Виконано
3.	Виконання практичної частини роботи	Протягом 2024	Виконано
4.	Аналіз, узагальнення та інтерпретація одержаних експериментальних даних	Вересень - жовтень 2024 р.	Виконано
5.	Написання дипломної роботи та підготовка до її захисту	листопад 2024 р.	Виконано

Здобувач вищої освіти _____ Огороднік Надія Василівна
(підпис) (прізвище, ім'я, по-батькові)

Керівник роботи: _____ к. с.-г. н., доцент Світельський Микола Михайлович
(підпис) (науковий ступінь, вчене звання) (прізвище, ім'я, по-батькові)

«01» грудня 2024 р.

АНОТАЦІЯ

Огороднік Н.В. Бактеріальна трансформація органічних речовин за гетеротрофного живлення фітопланктону в Житомирському водосховищі. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

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

Зміст анотації: кваліфікаційна робота розкриває дослідження з вивчення закономірностей прижиттєвого виділення РОР прісноводним фітопланктоном, як одного з джерел надходження до водойми органічних речовин; спостереженні за споживанням водоростями і бактеріями органічних речовин різної молекулярної маси та вивченні ферментативної активності в природних водоймах, культурах водоростей і бактерій.

Ключові слова: природний фітопланктон, угруповання, фіто- і бактеріопланктон, низько- і високомолекулярні органічні речовини, ферментативна активність, прісноводні водойми, культура водоростей.

ANNOTATION

Ogorodnik N.V. Bacterial transformation of organic substances under heterotrophic nutrition of phytoplankton in the Zhytomyr reservoir. - Qualification work on manuscript rights.

Qualification work for obtaining a master's degree in specialty 207 - Water bioresources and aquaculture - Polissia National University, Zhytomyr, 2024.

Summary: The qualification work describes the research on the study of the patterns of lifetime release of ROPs by freshwater phytoplankton as one of the sources of organic matter in the reservoir; observation of the consumption of organic matter of different molecular weights by algae and bacteria and the study of enzymatic activity in natural reservoirs, algae and bacterial cultures.

Key words: natural phytoplankton, community, phyto- and bacterioplankton, low- and high-molecular organic matter, enzymatic activity, freshwater bodies, algae culture.

ЗМІСТ

Вступ	6
Розділ 1. Формування біомаси фіто- і зоопланктону водойм як основної кормової маси рослиноїдних риб (огляд літератури)	10
1.1. Біологічна продукція планктону у водоймах	10
Розділ 2. Матеріал, умови та методики проведення досліджень	12
2.1. Матеріали та методи досліджень	12
2.2. Термічні, гідрохімічні та гідробіологічні умови дослідних водойм	13
Розділ 3. Вивчення кількості прижиттєвих виділень розчиненої органічної речовини (РОР) фітопланктоном	15
3.1. Вивчення сорбції мембранними фільтрами мічених речовин	15
3.2. Динаміка продукування органічної речовини фітопланктоном з урахуванням позаклітинних виділень РОР	15
3.3. Споживання низькомолекулярних органічних сполук фіто- і бактеріопланктоном	16
3.4. Споживання фіто- і бактеріопланктоном високомолекулярних органічних сполук	19
3.5. Ферментативна та гетеротрофна активність бактерій і водоростей	20
Висновки	26
Практичні пропозиції виробництву	28
Список використаних джерел	29

ВСТУП

Актуальність теми. Деструкція органічної речовини у водних екосистемах здійснюється в основному за рахунок життєдіяльності мікроорганізмів. У зв'язку з інтенсивним обміном речовин через співтовариство бактерій і водоростей трансформується значна частина розчиненої органічної речовини (РОР) [38].

Гетеротрофна активність бактерій і водоростей вивчається досить інтенсивно. Велика кількість робіт була проведена на культурах мікроорганізмів: у природних водоймах досліджень такого плану значно менше. Для вивчення гетеротрофної активності мікроорганізмів найчастіше використовуються мічені низькомолекулярні сполуки. Однак їх застосування не завжди належною мірою відображає процеси, що протікають у водоймах, тому що в останніх здебільшого представлена високомолекулярна РОР. Його споживання потребує попереднього гідролізу екзоферментами, що виділяються в середовище мікроорганізмами. У деяких випадках фітопланктон природних водойм споживає РОР краще або на рівні з бактеріями (особливо на глибинах із недостатньою освітленістю. У цьому випадку виникає питання про здатність водоростей виділяти в середовище екзоферменти. І друге, чи пов'язані ці процеси з їхньою гетеротрофною активністю. У водних екосистемах ці процеси практично не вивчені [34].

Предмет дослідження: виділення РОР природним фітопланктоном, споживання угрупованням фіто- і бактеріопланктону низько- і високомолекулярних органічних речовин, ферментативна активність (на прикладі протеолітичної) у прісноводних водоймах і культурах водоростей.

Об'єкт дослідження: показники виділення РОР природним фітопланктоном, споживання угрупованням фіто- і бактеріопланктону низько- і високомолекулярних органічних речовин, параметри протеолітичної та гетеротрофної активності альгологічно і бактеріально чистих культур деяких

синьо-зелених (ціанобактерій) і зелених водоростей та в культурах бактерій (на прикладі *Bacillus subtilis*).

Мета та завдання досліджень. Метою даної роботи було вивчення закономірностей прижиттєвого виділення РОР прісноводним фітопланктоном, як одного з джерел надходження до водойми органічних речовин; спостереженні за споживанням водоростями і бактеріями органічних речовин різної молекулярної маси та вивченні ферментативної активності в природних водоймах, культурах водоростей і бактерій.

Було виділено такі основні завдання:

1. Вивчення прижиттєвого виділення РОР природним фітопланктоном.
2. Вивчення споживання угрупованням фіто- і бактеріопланктону низько- і високомолекулярних органічних речовин.
3. Визначення ферментативної активності (на прикладі протеолітичної) у прісноводних водоймах і культурах водоростей.
4. Вивчення протеолітичної та гетеротрофної активності альгологічно і бактеріально чистих культур деяких синьо-зелених (ціанобактерій) і зелених водоростей.
5. Вивчення протеолітичної та гетеротрофної активності в культурах бактерій (на прикладі *Bacillus subtilis*).

Наукова новизна. Розроблено комплекс методів визначення гетеротрофної та фотосинтетичної активності водоростей і бактерій стосовно прісноводних водойм. У природних і лабораторних умовах вивчено процеси деградації та подальшої асиміляції високомолекулярних білкових сполук альго-бактеріальною спільнотою.

Зіставлення величин гетеротрофної активності водоростей і бактерій дозволило уточнити статус цих мікроорганізмів у трофічній піраміді водного біоценозу.

Практичне значення. Отримані результати можуть бути використані установами з охорони природи, органами санітарно-епідеміологічного контролю за станом прісноводних екосистем. На основі виявлених

закономірностей у споживанні органічних субстратів прісноводними угрупованнями фіто- і бактеріопланктону можна прогнозувати здатність водойм до самоочищення, з урахуванням функціонування літичних бактеріальних екзоферментів. Запропонований підхід дає можливість швидко оцінити напрямок енергопотоків органічної речовини у водоймі.

Основні положення, що виносяться на захист:

1. Прижиттєве виділення РОР природним фітопланктоном.
2. Споживання угрупованням фіто- і бактеріопланктону низько- і високомолекулярних органічних речовин.
3. Ферментативна активність (на прикладі протеолітичної) у прісноводних водоймах і культурах водоростей.
4. Протеолітична та гетеротрофна активність альгологічно і бактеріально чистих культур деяких синьо-зелених (ціанобактерій) і зелених водоростей.
5. Протеолітична та гетеротрофна активність в культурах бактерій (на прикладі *Bacillus subtilis*).

Перелік публікацій автора за темою дослідження. Матеріали досліджень були опубліковані у ряді конференцій, зокрема:

1. Огороднік Н.В. Кількість прижиттєвих виділень розчиненої органічної речовини (РОР) фітопланктоном. Студентська науково-практична конференція «Технології. Наука. Практика - 2024»: 3б. наук праць. Житомир: Вид-во Поліського національного університету, 2024.

2. Надольний Р.Е., Шеремет І.М., Огороднік Н.В., Мустієв М.В. Споживання низькомолекулярних органічних сполук фіто- і бактеріопланктоном. Студентська науково-практична конференція «Технології. Наука. Практика - 2024»: 3б. наук праць. Житомир: Вид-во Поліського національного університету, 2024.

3. Надольний Р.Е., Шеремет І.М., Огороднік Н.В., Мустієв М.В. Вплив окремих чинників на морфофізіологічні показники цьогорічок стерляді. Всеукраїнська науково-практична конференція «Водні і наземні екосистеми та збереження їх біорізноманіття - 2024»: 3б. наук праць. Житомир: Вид-во Поліського національного університету, 2024.

Структура та обсяг роботи. Робота містить 32 сторінки комп'ютерного тексту, складається із вступу, трьох розділів, висновків, практичних рекомендацій та 40 позицій використаних джерел, кількість рисунків – 3.

РОЗДІЛ 1. ФОРМУВАННЯ БІОМАСИ ФІТО- І ЗООПЛАНКТОНУ ВОДОЙМ ЯК ОСНОВНОЇ КОРМОВОЇ МАСИ РОСЛИНОЇДНИХ РИБ (огляд літератури)

1.1. Біологічна продукція планктону у водоймах.

Планктонні угруповання є складними багатовидовими системами з безліччю зв'язків між популяційними гідробіонтами, що їх складають, проте багато екологічних параметрів більшості планктерів вивчені не повністю. Із цього погляду доцільно поділяти спільноту на екологічні групи, об'єднані тими чи іншими ознаками та характеристиками [36].

Фітопланктон - частина планктону, що бере участь у процесі фотосинтезу, до його складу входять одноклітинні водорості та бактерії, що фотосинтезують. Мікроскопічні водорості здатні дуже швидко рости і розмножуватися. Зокрема, деякі види здатні подвоювати свою біомасу за добу. Суттєвий вплив на розвиток фітопланктону справляє зоопланктон, для якого фітопланктон є їжею. З іншого боку, зростання біомаси фітопланктону визначається низкою інших чинників абіотичної природи, зокрема внутрішньовидовою конкуренцією за ресурси. Більше того, у результаті життєдіяльності фітопланктонної спільноти відбувається вивільнення токсичних речовин, висока концентрація яких може призводити до загибелі особин, що також дає змогу говорити про наявність процесів саморегуляції всередині спільноти. Загалом же велика кількість фітопланктону протягом доби регулюється ритмікою їхнього розмноження [34].

Зоопланктон складають зазвичай три систематичні групи: коловертки (Rotatoria, клас), веслоногі раки (Copepoda, ряд), гіллястовусі раки (Cladocera, ряд). Життєвий цикл коловерток являє собою чергування партеногенетичного (в результаті поділу) і статевого розмноження. У партеногенетичних яєць, які не мають періоду спокою, розвиток триває 3-4 дні. У разі статевого розмноження запліднені самки відкладають яйця, що спочивають, при цьому стан спокою може тривати від кількох днів до року і більше. Під час розвитку особин виділяють ювенільний і репродуктивний періоди [40].

Ювенільний період триває з моменту викльовування з яйця до відкладання першого власного яйця. Через 0.5-1.5 доби починається основний репродуктивний період, який триває з моменту відкладання першого до відкладання останнього яйця. Важливою частиною планктонної спільноти є копеподи. Більшість копепод живляться фітопланктоном. Проте існують види - хижаки, - які поїдають інші види ракоподібних (молодь копепод і кладоцер), коловерток. Більшість видів відкладає яйця прямо у воду, з яйця виходить личинка наупліус, яка багаторазово линяє і поступово наближається за своїми ознаками до дорослого рачка [38].

Як і для коловерток, тут видається можливим виділити дві стадії розвитку: ювенільну і статевозрілу. Гіллястовусі ракоподібні живляться переважно дрібним фітопланктоном, проте відмічаються і хижі форми. Зазначимо, що за джерелами живлення всі ракоподібні поділяються на мирних (які живляться фітопланктоном і бактеріями) та хижих (до їхнього спектра харчування додається мирний зоопланктон). До мирних належать молодь усіх популяцій і статевозрілі особини кладоцер. Групу хижих складають статевозрілі особини копепод і коловерток [39].

Отже, зоопланктонні організми можна розділити на дві стадії розвитку: ювенільну та статевозрілу. За характером харчування ми ділимо зоопланктон на два класи: нехижий і хижий. До нехижого належить молодь усіх популяцій зоопланктону. У свою чергу, зріла група зоопланктону включає нехижих статевозрілих особин кладоцер, що харчуються водоростями, і хижих особин - копепод і коловерток. Щільнісна регуляція зоопланктону здійснюється неявно на ювенільній стадії унаслідок конкуренції за харчування, яка реалізується під час взаємодії видів [32].

РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛ, УМОВИ ТА МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Матеріали та методи досліджень.

Робота проводилась з 2018 по 2020 рр. Вивчення фототрофної та гетеротрофної активності фіто- та бактеріопланктону проводили на мезотрофній та евтрофній водоймах. Лабораторні дослідження виконували на альгологічно і бактеріально чистих культурах деяких синьо-зелених (ціанобактерій) і зелених водоростей. Як мітки використовували низькомолекулярні сполуки: глутамінову кислоту, аланін, гідролізат водоростей, гліцил-лейцин) і високомолекулярні (бичачий сироватковий альбумін, E- імуноглобулін людини).

Вивчення гетеротрофної та протеолітичної активності проводили на альгологічно чистих культурах *Chlorella vulgaris*, *Scenedesmus quadricauda*, *Spirulina* sp., аксенічних (чистих) культурах синьо-зелених - *Anabaena variabilis*, *Nostoc muscorum*, *Oscillatoria* sp. і зелених Ch. *Vulgaris*, S. *Quadricauda*, *Chlamydomonas gyrus*, на бактерії *Bacillus subtilis* і природному фіто- та бактеріопланктоні.

Протеолітичну активність визначали методом, що ґрунтується на зміні поляризації флуоресценції міченого флуоресцентним барвником флуореоцеїнізотіаціанатом (ФІТЦ) білка-імуноглобуліну G (IgG-ФІТЦ) під впливом протеаз, що виділяються в середовище мікроорганізмами. Воду з культурою водоростей, бактерій, фіто- і бактеріопланктоном фільтрували через невеликі фільтри й таким чином отримували безбактеріальний фільтрат і фільтрат із бактеріями. Потім у спільноту фіто- і бактеріопланктону водоростей, бактерій і безбактеріальний фільтрат додавали білок-імуноглобуліну G (концентрація 1,25 мкг/мл), який за наявності протеаз гідролізувався. Для визначення величин протеаз на поверхні міток водоростей фермент змивали з фільтрів баратним буфером і додавали IgG-ФІТЦ. Проби з IgG-ФІТЦ інкубували протягом 3 год (аналіз проводили через кожну годину).

Вимірювання поляризації флуоресценції міченого білка здійснювали на TDX-аналізаторі.

Природна кормова база риб вивчалася шляхом відбору проб за фіто-зоопланктоном і зообентосом через кожні 10 днів. Обробку проб проводили за загальноприйнятою в рибництві методикою.

Загальний аналіз води проводили на початку, в середині та наприкінці вегетаційного періоду. Вміст O₂, CO₂, рН та окиснюваність води визначали щодавно відповідно до методик, викладених у літературі. У літніх і зимових ставках здійснювали щодня контроль за термічним режимом.

2.2. Термічні, гідрохімічні та гідробіологічні умови дослідних водойм.

Температурні умови Полісся України у 2018-2020 рр. були задовільними для фіто- та бактеріоценозів. Аналіз температурного режиму ставів показав, що найсприятливішим є період з червня по серпень. Температура води в ці місяці, як правило, вища за 20⁰С з максимальною температурою 24,9⁰С у липні. Найнижчу температуру води в дослідних ставках відмічено у 2019 р. Так, у травні вона виявилася на 3,4⁰С, у червні та в липні на 1,9⁰С нижчою порівняно із середньою температурою за останні 5 років відповідного періоду.

Вміст розчиненого у воді кисню в малькових, вирощувальних і нагульних ставках перебував у межах 4,0-10,0 мг/л і лише в окремі дні знижувався в передранкові години до 2 мг/л у вирощувальних і 2,4 мг/л - у нагульних ставках. Ці зниження вмісту кисню були короткочасними й істотно не позначилися на темпі росту риби.

Кількість вільної вуглекислоти коливалася у вирощувальних ставках у межах 6,6-26,0 мг/л, у нагульних - 4,4-27,2 мг/л. Величина активної реакції середовища була 6,8-8,9. Окиснюваність нефільтрованої води в ставках була високою і становила: у досліді 67,7-88,0 мгO₂/л і контролі 50,7-79,1 мгO₂/л. Висока окиснюваність води зумовлена деструкцією фітопланктону та інтенсивною годівлею коропа концентрованими кормами.

Вміст солей заліза, іонів кальцію і магнію, хлоридів і сульфатів, а також загальна жорсткість води перебували в межах припустимих норм для коропових ставків і не мали суттєвих відмінностей у досліді та контролі.

Гідробіологічна характеристика водойм.

Фітопланктон досліджуваних водойм був представлений 41 видом, у тому числі: зелених водоростей 25 видів, синьо-зелених - 5, діатомових - 8, джгутикових - 3 види. За чисельністю до 15 липня переважали зелені, потім синьо-зелені водорості. Біомаса фітопланктону ставків перебувала в межах 6,62-76,40 мг/л, нагульних - 0,52-72,7 мг/л.

Зоопланктон дослідних ставків був представлений 50 видами. З них 27 видів коловерток, 18 - гіллястовусих рачків і 6 - веслоногих. Переважаючими як за чисельністю, так і за біомасою були гіллястовусі рачки. Загальна біомаса коливалася в межах 14,88-32,02 г/м² у водосховищі і 17,90-43,70 г/м³ у ставах. При цьому в дослідних ставках біомаса зоопланктону була дещо вищою порівняно з контрольними, що, мабуть, можна пояснити удобрювальною дією фекалій товстолоба, які слугують гарним субстратом для інтенсивного розвитку бактеріопланктону, що слугує їжею для нижчих ракоподібних до коловерток.

У складі зообентосу водойм виявлено 31 форму, що належить до 4 груп: личинки хірономід, олігохети, личинки хаоборін і п'явки. Переважаючими за чисельністю були хірономіди. Загальна біомаса коливалася в межах 0,05-15,64 г/м³. Суттєвих відмінностей між показниками зообентосу по дослідних і контрольних ставках не виявлено.

Статистичну обробку отриманих під час експериментів даних проводили за загальноприйнятими методиками по Лакину, 1980 [29].

РОЗДІЛ 3. КІЛЬКІСТЬ ПРИЖИТТЄВИХ ВИДІЛЕНЬ РОЗЧИНЕНОЇ ОРГАНІЧНОЇ РЕЧОВИНИ (РОР) ФІТОПЛАНКТОНОМ

3.1. Сорбція мембранними фільтрами мічених речовин.

Досліди з вивчення сорбції мембранними фільтрами міченої соди, амінокислоти і білка показали, що фільтри на целюлозній основі в 1,5-2 рази сильніше сорбують мітку $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$, ніж фільтри з лавсанової основи. Під час «відмивання» фільтрів у парах кислоти і на папері, змоченому в HCl , видаляється тільки 22% сорбованої $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$, яка не змивається навіть в сцинтиляційній рідині. На фільтрі «Синпор» сорбується близько 4% внесеної в середовище ^{14}C -глутамінової кислоти і близько половини міченого білка, які не змиваються дистильованою водою.

Удосконалено методику визначення протеолітичної активності у водних екосистемах методом поляризації флуоресценції для її використання в гідробіологічних дослідженнях. За величиною поляризації флуоресценції можна судити про зміну розмірів молекул у процесі їх ферментативного розчеплення. Суть методу полягає в тому, що в аналізовану пробу додають імуноглобулін G, мічений флуоресцентним барвником флуореоцеїнізотіаціанатом (ФІТЦ), і на приладі «ТДХ-аналізаторі» аналізують поляризацію флуоресценції. Під дією ферментопротеаз відбувається деградація білка IgG-ФІТЦ, яка і реєструється на приладі. Цей метод дає змогу з великою точністю визначати швидкість ферментативних процесів у водних екосистемах. Час одного вимірювання близько 1 хв, а коефіцієнт варіації результатів не перевищує 5-10%.

3.2. Динаміка продукування органічної речовини фітопланктоном з урахуванням позаклітинних виділень РОР.

Автохтонна РОР надходить у середовище у вигляді довічних і посмертних виділень різних організмів, і насамперед водоростей. У водоростей цей процес протікає не тільки вдень, а й уночі. За нашими даними в поверхневому шарі Житомирського водосховища екскреція органічної речовини фітопланктоном здійснювалася впродовж доби, включно із

сутінками та нічним часом. У різний час доби водорості виділяли в середовище 82-98% від поглиненого під час фотосинтезу вуглецю; мінімальні (відносні) значення спостерігалися вдень, тоді як уночі, в ранкові та вечірні години - навпаки, максимальні (рис. 1).

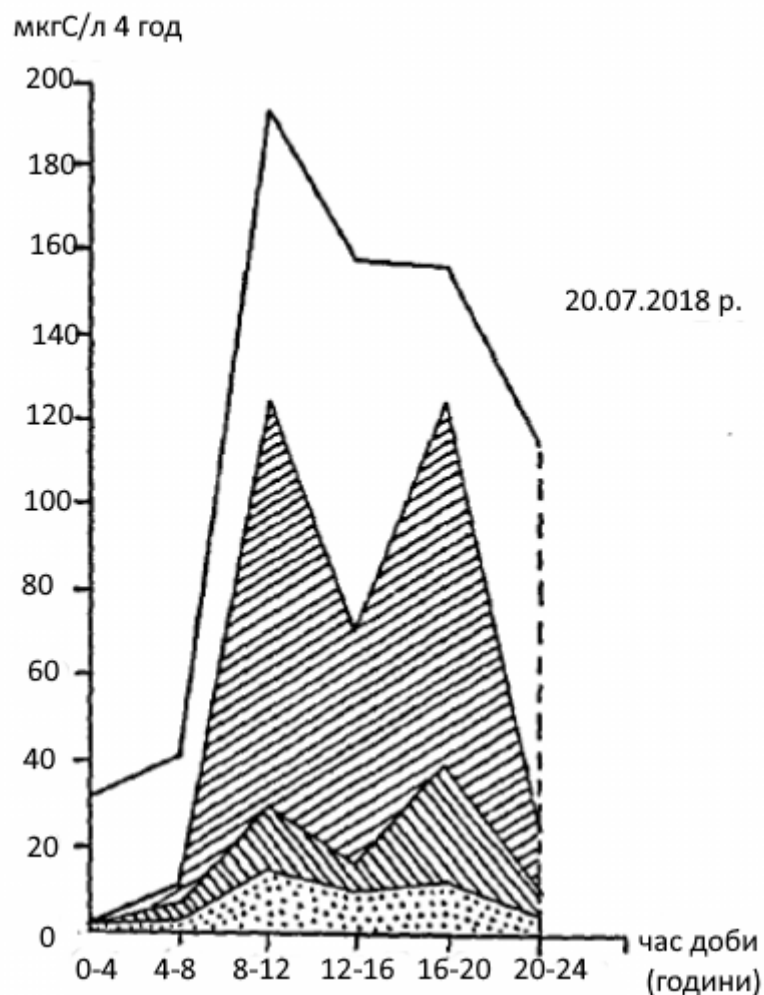


Рис. 1. Добова динаміка загальної внутрішньоклітинної продукції органічної речовини різними групами водоростей в Житомирському водосховищі

Значна частина позаклітинних виділень надходить у середу з 20 год вечора і до 8 год ранку; на цей час припадає від 30% до 70% добової позаклітинної продукції. У середньому за добу водорості виділяли в середовище 17-43% від включеного в клітину вуглецю. Оскільки позаклітинні продукти здебільшого представлені легкозасвоюваними компонентами РОР, то фітопланктон цілодобово «підживлює» мікроорганізми своїми метаболітами.

На частку водоростей розміром до 20 мкм припадало 23% добової продукції; на частку середньої фракції (20-50 мкм) - 4%. Фітопланктон розміром понад 50 мкм продукував основну масу органічної речовини; на його частку припадало 73% добової продукції.

3.3.Споживання низькомолекулярних органічних сполук фіто- і бактеріопланктоном.

Дослідження показали, що водорості та бактерії споживали низькомолекулярні органічні речовини, в зокрема, мічену за ^{14}C глютамінову кислоту, протягом доби, як уночі, так і вдень. Причому, фітопланктон включав у свої клітини амінокислоту інтенсивніше, ніж бактерії; на його частку припадало 60-71% спожитого мікроорганізмами РОР.

Споживання органічної речовини водоростями протягом доби відбувалося нерівномірно; в одних випадках значна її частина включалася в мітки в ранкові та вечірні години, в інших - удень. Серед водоростей найбільшу гетеротрофну активність мала фракція розміром до 20 мкм, на частку якої припадало 54-66% спожитої фітопланктоном органічної речовини.

Біомаса фітопланктону не завжди була визначальною у співвіднесенні споживання РОР водоростями та бактеріями. Гетеротрофна активність фітопланктону значною мірою визначалася присутністю в його складі дрібних форм водоростей (нанопланктону); що більше було останніх, то інтенсивніше фітопланктон споживав РОР.

У серпні під час інтенсивного розвитку фітопланктону спостерігалася не тільки висока активність водоростей (фотосинтез і споживання РОР), а й бактерій. У цей час гетеротрофна активність останніх була в 5-15 разів вищою, ніж в інший час сезону. У серпні продукція бактерій, виміряна ^{14}C -методом (Романенко, Кузнецов, 1974), була в 17-27 разів вищою, ніж у червні та липні. Тобто, споживання бактеріями органічного і мінерального вуглецю перебувало в прямій залежності.

У споживанні органічної речовини бактеріями впродовж доби не спостерігалася скільки-небудь помітної закономірності: в одних дослідах

основна маса амінокислот споживалася від 12 до 20 годин, в інших - у 20-24 год або вдень - 8-12 год. Однак можна відзначити, що піки гетеротрофної активності бактерій і водоростей протягом доби якоюсь мірою збігалися.

У 2018 р. було отримано подібні результати. На частку бактерій мезотрофного водосховища припадало від 19 до 61% спожитого впродовж доби фіто- і бактеріопланктоном РОР (глутамінова кислота) (рис. 2).

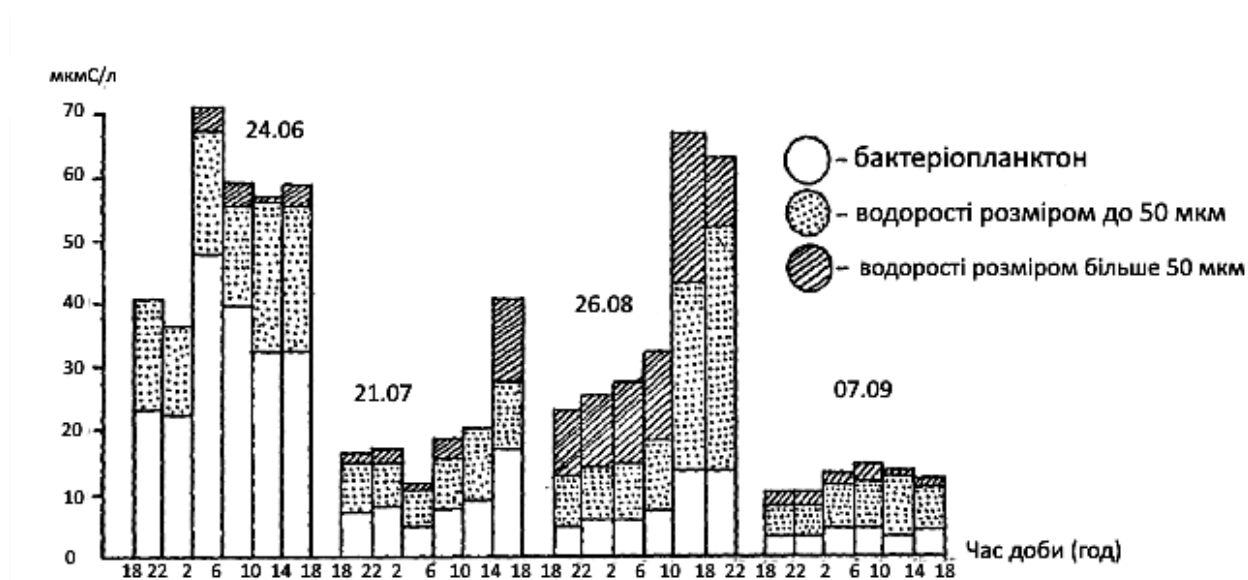


Рис. 2. Добова динаміка споживання глутамінової кислоти фіто- і бактеріопланктоном Житомирського водосховища у 2018 р.

Бактерії найкраще споживали РОР у першій половині літа, коли в планктоні здебільшого була представлена велика фракція фітопланктону (понад 50 мкм). У серпні та вересні, коли в планктоні домінували водорості розміром до 50 мкм, на частку бактерій припадало 18-21% спожитого протягом доби субстрату.

Фітопланктон мезотрофного водосховища та евтрофного ставу впродовж доби споживав від 39 до 82% спожитої мікроорганізмами РОВ (глутамінова кислота та гідролізат водоростей). Причому, основну масу органічної речовини споживав нанопланктон, у дослідях з гідролізатом на його частку припадало 80-94% спожитого фітопланктоном субстрату, а з глутаміновою кислотою - 56-92%.

Сезонні спостереження (у 2018 р.) за споживанням міченої глутамінової кислоти фіто- і бактеріопланктоном Житомирського водосховища показали,

що фітопланктон майже на третину краще її використовував, ніж бактерії. Очевидно, однією з причин цього є низька чисельність бактерій, тому що в даному випадку розрахунок ішов на абсолютні показники без урахування чисельності та біомаси цих організмів у водоймі.

У споживанні органічної речовини водоростями спостерігалось кілька піків: у червні за низької біомаси фітопланктону і в серпні за зниження його біомаси. Мабуть, це пов'язано з тим, що на початку літа, незважаючи на невелику біомасу водоростей спостерігалось велике їхнє розмаїття: у планктоні були присутні зелені, діатомові, пірофітові, синьо-зелені та інші, серед яких завжди знайдуться групи, яким бракує даного субстрату. Крім того, в цей час водорості прижиттєво виділяли в середовище відносно велику кількість POP, яка могла стимулювати гетеротрофну активність не тільки бактерій, а й водоростей, що і спостерігалось. У серпні зниження біомаси фітопланктону відбувалося в основному за рахунок відмирання фітопланктону, тоді як великі форми (в основному *Ceratium hirundinella*) зберігали свою чисельність. Крім того, у серпні зниження чисельності одних груп водоростей відбувалося паралельно з розвитком інших, а, як відомо, у цей період фізіологічна активність різко зростає.

Питома гетеротрофна активність нанопланктону була в 10-50 разів вищою за сітчастий фітопланктон (розмір більше 50 мкм). Піки гетеротрофної активності нанопланктону припадали на період низької біомаси водоростей (червень) або початок розвитку фітопланктону (липень, серпень).

Найбільші значення гетеротрофної активності бактерій спостерігалися в червні, а найменші - у серпні-вересні. У першій половині літа їхня питома гетеротрофна активність була в кілька разів вищою, ніж в інший час сезону.

Проведені дослідження показали, що фітопланктон має високу гетеротрофну активність, і за досить високої його біомаси може створювати конкуренцію бактеріям у споживанні низькомолекулярних органічних речовин.

3.4. Споживання фіто- і бактеріопланктоном високомолекулярних органічних сполук.

У природних водоймах значна частина РОР представлена високомолекулярними сполуками, споживання яких потребує попереднього гідролізу екзоферментами. Як було показано вище, водорості активно споживали низькомолекулярну РОР, проте не зовсім зрозуміло, як вони реагуватимуть на надходження в середовище низькомолекулярних сполук (зокрема, білків).

Дослідження, проведені в невеликому ставку, розташованому на території ботанічного саду, показали, що фітопланктон і бактеріопланктон споживає як амінокислоту (^{14}C -глутамінову кислоту), так і білок (Н-альбумін). Причому кількість включеної в клітину мітки найчастіше залежить від розвитку цих мікроорганізмів, і насамперед бактерій. Білок найактивніше включався в клітини бактерій і водоростей під час відмирання фітопланктону наприкінці червня і на початку серпня. Надходження в середовище органічних речовин стимулювало гетеротрофну активність організмів. За інтенсивного розвитку водоростей у липні споживання органічних речовин було мінімальним.

Загальна картина споживання білка водоростями і бактеріями була подібною; відмінність полягала лише в невеликій часовій зсунутості цих процесів (Рис. 3).

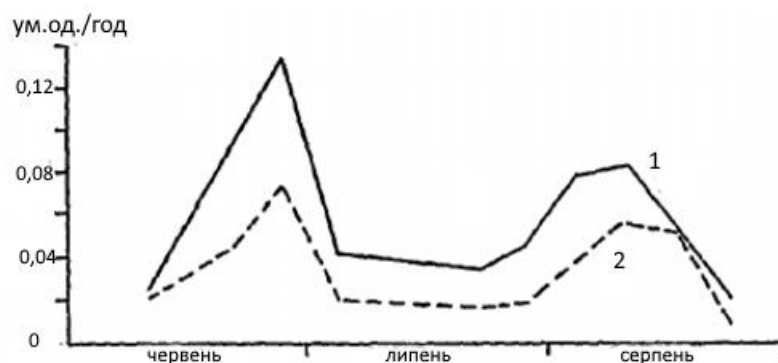


Рис. 3. Сезонна динаміка споживання білка (ЗН-бичачої сироватковий альбумін) бактеріопланктоном (1) і фітопланктоном (2) ставу ботанічного саду Поліського національного університету

Бактерії швидше реагували на відмирання фітопланктону, ніж водорості: гетеротрофна активність у них протікала інтенсивніше, ніж у фототрофів, у середньому за сезон на частку бактерій припадало 65% спожитого мікроорганізмами міченого альбуміну (на частку водоростей - відповідно 35%). Протягом усього літнього сезону бактерії більше, ніж водорості, споживали мічений білок. При споживанні білка на частку водоростей у середньому за сезон припадало 35% від загального споживання його мікроорганізмами, а щодо амінокислот - дещо вищий - 44%. В окремі періоди вегетаційного сезону водорості в кілька разів більше споживали глютамінову кислоту, ніж бактерії.

Отримані результати показали, що фітопланктон споживав амінокислоту краще або нарівні з бактеріями, тоді як білок в основній масі утилізувався бактеріями.

3.5. Ферментативна та гетеротрофна активність бактерій і водоростей.

У природних водоймах основна маса РОВ представлена високомолекулярними сполуками, тоді як через клітинну стінку мікроорганізмів можуть проникати тільки невеликі молекули. Тому великі сполуки мають бути попередньо гідролізовані екзоферментами. У гетерогенних системах (грунтах, мулах, а у водній товщі - на поверхні детриту) виділений у середовище фермент локалізовано в безпосередній близькості від клітини, а продукти гідролізу субстрату одразу ж споживаються цими організмами. У товщі води (гомогенна система) спостерігається інша картина; фермент, виділений у середовище однією групою організмів, надходить у скарбничку РОР водойми. Продукти гідролізу споживаються всією біотою незалежно від того можуть вони чи навпаки не можуть екскретувати в середовище літичні ферменти.

Тобто, незважаючи на неоднакову здатність організмів виділяти в середовище екзоферменти, багато хто з них (а це бактерії, водорості, гриби, одноклітинні та, очевидно, багатоклітинні тварини) здатен споживати

низькомолекулярні сполуки, що й було показано багатьма дослідниками. А швидкість споживання РОР організмами багато в чому залежить від їхніх фізіологічних можливостей, концентрація органічної речовини в середовищі багатьох біотичних та абіотичних чинників.

Споживання органічної речовини бактеріями і водоростями викликає резонне запитання про здатність цих груп мікроорганізмів виділяти в середовище літичні екзоферменти і про взаємозв'язок цих процесів з їхньою гетеротрофною активністю. Щоб відповісти на деякі з цих запитань і було проведено низку експериментів із природним фіто- і бактеріопланктоном і лабораторними культурами водоростей і бактерій.

Дослідження на природній водоймі показали, що у воді присутні протеази, які гідролізують білок до його складових, останні споживаються як бактеріями, так і водоростями. Ферментативні процеси протікають у присутності природного співтовариства фіто- і бактеріопланктону, самих лише бактерій і в профільтованій «чистій» воді. Здатність «чистої води» до ферментативного гідролізу білка вказує на наявність екзопротеаз у вільному стані. На частку фільтрату припадає 76% від ферментативної активності води, в якій перебуває природне співтовариство фіто- і бактеріопланктону. Показники ферментативної активності води з одними тільки бактеріями практично збігаються з аналогічними результатами води з фіто- і бактеріопланктоном. Це вказує на домінуючу роль бактерій у ферментативних процесах. Піки гетеротрофної та ферментативної активності фіто- і бактеріопланктону збігалися, що знову ж таки підкреслює взаємозв'язок цих процесів.

Те ж саме спостерігали і в альгологічно чистих культурах *Scenedesmus quadricauda*, *Chlorella vulgaris*, *Spirulina* sp. і бактерії *B. subtilis*. На частку «чистої» культуральної рідини *B. subtilis* припадало 69% протеолітичної активності середовища, в якому перебували ці бактерії. У водоростей (*Scenedesmus quadricauda*, *Chlorella vulgaris*, *Spirulina* sp.) аналогічні показники становили відповідно 94%; 75%; 50% (Рис. 4).

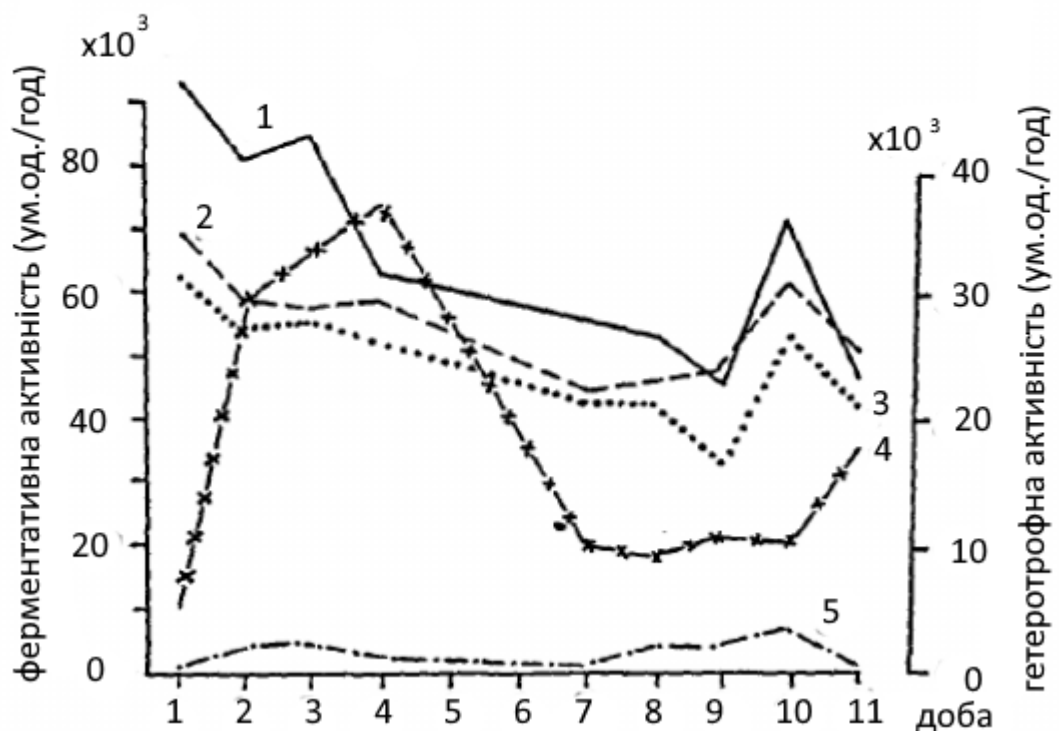


Рис. 4. Ферментативна і гетеротрофна активність альгологічних чистих культур *Scenedesmus quadricauda*

- 1 - ферментативна активність співтовариств водоростей і бактерій**
- 2 – ферментативна активність супутніх бактерій**
- 3 - ферментативна активність безбактеріального фільтра**
- 4 – гетеротрофна активність водоростей**
- 5 - гетеротрофна активність супутніх бактерій**

Наявність ферментів у вільному стані дає можливість утилізувати продукти гідролізу субстрату всіма присутніми організмами, як бактеріями, так і водоростями. Оскільки в культурах водоростей були бактерії (їхня чисельність була в межах 1-5 млн. кл/мл), у цих дослідках важче встановити джерело продукування екзопротеаз. Це можуть бути як бактерії, так і водорості, тим паче, що результати ферментативної активності водоростей (разом із бактеріями), вищі, ніж самих лише бактерій. Тобто, складається враження, що і водорості вносять свою частку екзоферментів у їхню загальну кількість. Однак якщо врахувати, що під час фільтрування водоростей можливе часткове видалення бактерій (особливо конгломератів), детритно-бактеріальних асоціацій, то це призводить до занижених результатів

ферментативної активності бактерій. Якщо припустити такий варіант, то результати ферментативної активності угруповань водоростей і бактерій мають бути дещо ближчими.

Необхідно звернути увагу й на інший факт; у культурі *B. Subtilis* (Рис. 5) гетеротрофна активність передуює ферментативній активності, тоді як у водоростей (зокрема, у *S. quadricauda*) (Рис. 4) вона йде із запізненням на кілька днів. Ці непрямі дані вказують на те, що водорості наче чекають на появу в середовищі легкозасвоюваних компонентів і вже тоді починають їх споживати (Рис. 5).

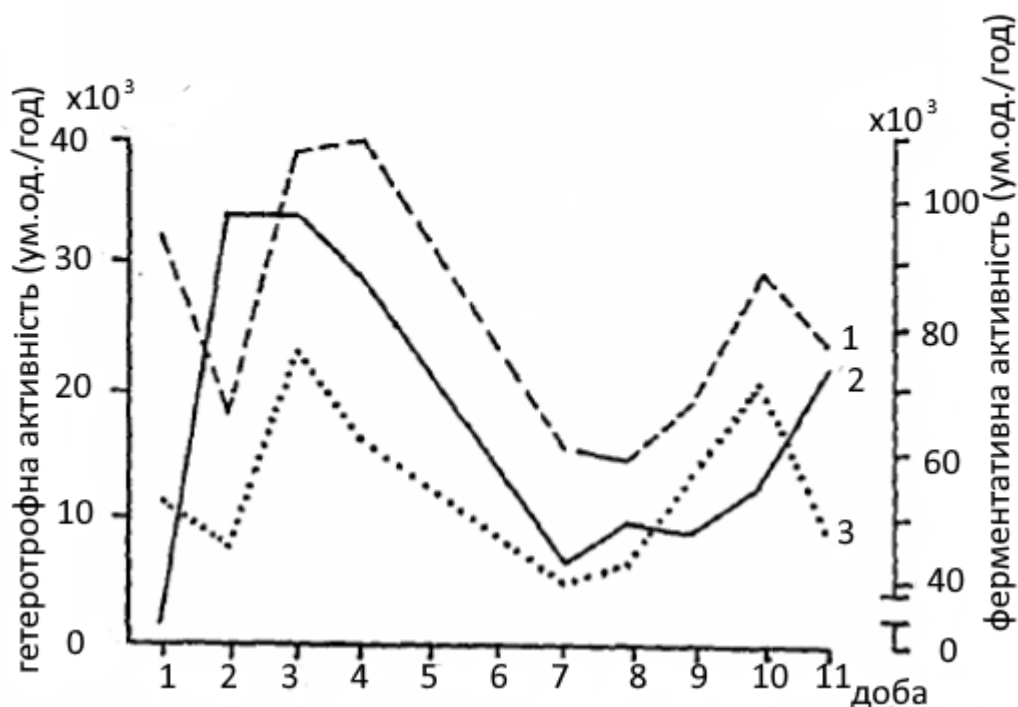


Рис. 5. Ферментативна (1) і гетеротрофна (2) продуктивність *Bacillus subtilis*; 3 – ферментативна продуктивність безбактеріального фільтрату

Далі виникає питання, а чи виділяють екзопротеази самі водорості. Експерименти з бактеріально чистими культурами *Chlorella vulgaris*, *Nostoc*, *Anabaena*, *Scenedesmus quadricauda* показали, що ці водорості досить добре споживають мічену амінокислоту. Однак екзопротеази не виявляли (тобто, ферментативна активність середовища з водоростями, на поверхні клітин і в субстраті не спостерігалася). Виняток становили дослідження з *Nostoc*. Деякі види

водоростей культивували протягом трьох тижнів; у всіх випадках водорості мали гетеротрофну активність (тобто споживали мічену амінокислоту). Однак у культуральній рідині ферментативні процеси не спостерігалися.

З огляду на те, що екзоферменти здебільшого є індукцибельними (тобто виділяються в середовище за появи субстрату), деякі види водоростей культивували в присутності білка. Показано, що і в цьому випадку протеолітична активність у бактеріально чистих культурах водоростей не спостерігалася. Внесення білка в середовище не впливало на споживання глютамінової кислоти, що ще раз вказує на відсутність протеолітичної активності в перерахованих вище водоростей. За зараження культури водоростей бактеріями (що сталося на 25 добу культивування *A. variabilis* і *N. muscorum*), у середовищі в цей день спостерігався ферментативний гідроліз білка.

У дослідах з *N. muscorum* гідроліз білка спостерігався на поверхні колоній (починаючи з 5-ї доби культивування). У культуральному середовищі з водоростями та у фільтраті цього явища не спостерігалось. Ми пов'язуємо ферментативну активність на поверхні колоній *N. muscorum* з діяльністю симбіотичних бактерій, занурених у слиз цієї колоніальної водорості.

У природних умовах водорості мешкають спільно з бактеріями, і в цьому випадку можлива «допомога» з боку останніх у ферментативному гідролізі білків і спільному споживанні низькомолекулярних сполук. Додавання фільтрату *B. subtilis* до культур *Anabaena variabilis* і *S. quadricauda* призводило до появи в середовищі ферментативних процесів і збільшення гетеротрофної активності водоростей. У зеленої водорості вона зросла у 2 рази, а у синьо-зеленої - у 7 разів. Додавання фільтрату водоростей до культури *B. subtilis* практично не впливало на ферментативну активність бактерій, гетеротрофна активність в одному випадку (фільтрат *Scenedesmus*) не змінювалася, а в іншому - фільтрат *Anabaena* - зменшилася в 9 разів. В аналогічних дослідах з використанням мічених амінокислот, пептиду, білка спостерігалася така сама картина: гетероферментна активність бактерій практично повністю

пригнічувалася, тоді як ферментативний гідроліз білка в культуральній рідині залишався на рівні контролю. Ці експерименти показують, що фільтрат синьо-зелених містить речовини, які негативно впливають на включення в клітинах бактерій низькомолекулярних сполук - продуктів ферментативного гідролізу білків.

При цьому зниження протеолітичної активності в культуральному середовищі бактерій не відбувається. Зелені водорості не чинять ніякого впливу на гетеротрофну й ферментативну активність бактерій. У всьому цьому є певний екологічний сенс.

Дослідження з використанням мічених амінокислот і білка показали, що *B. subtilis* добре споживає ці сполуки. Аксенічні культури зелених і синьо-зелених водоростей споживали тільки амінокислоту. Таким чином, безбактеріальні культури водоростей білок не споживали, що підтверджує попередні експерименти щодо нездатності їм виділяти в середовище екзопротеази.

Таким чином, основна роль у ферментативному гідролізі РОР (мається на увазі білок) належать бактеріям, тоді як амінокислоти споживаються як бактеріями так і водоростями. Однак такий тип взаємовідносин навряд чи ефективний для життєдіяльності бактерій. Хоча не можна не виключати і своєрідний симбіоз між спільнотою водоростей і бактерій; водорості підгодовують бактерії своїми прижиттєвими виділеннями, а бактерії «допомагають» їм гідролізувати великі молекули до простих сполук, здатних проникати через клітинну мембрану.

Розглянемо детальніше одну з версій, яка якоюсь мірою дає змогу пояснити механізм взаємовідносин водоростей і бактерій.

Виділення ферменту бактеріями визначається наявністю в середовищі субстрату. У його присутності відбувається гідроліз і йде накопичення низькомолекулярних продуктів, які й споживаються мікроорганізмами. Підвищення їхньої концентрації вище за якийсь певний поріг призводить до блокування синтезу і, відповідно, виділення ферменту. Таким чином, організм

контролює секрет ферменту і припиняє його непотрібний синтез.

Володіючи високою питомою поверхнею, бактерії можуть споживати органічні речовини за нижчих концентрацій, ніж водорості. Тому вони повинні підтримувати дуже низькі концентрації кінцевого продукту, нижчі за поріг споживання цієї речовини водоростями. Для того, щоб підвищити концентрацію продукту до необхідної фототрофам найімовірніше необхідно якимось способом блокувати проникнення в бактеріальні клітини продуктів ферментативного гідролізу субстрату. У цьому разі швидкість ферментативної активності бактерій залишатиметься на попередньому рівні, а продукти гідролізу накопичуватимуться в середовищі. Такий механізм взаємовідносин водоростей і бактерій цілком можливий, тим паче, що вдалося показати, що фільтрат синьо-зеленої *Anabaena variabilis* призводить до зниження споживання *B. subtilis* мічених амінокислотою в 9 разів. Тоді як протеолітична активність практично не змінилася. Фільтрат зелених *Ch. vulgaris* і *S. quadricauda* не чинив такого впливу на бактерії. Відомо, що багато синьо-зелених є інгібіторами розвитку бактерій. Тож цілком імовірний механізм впливу цих водоростей на бактерій. Між зеленими водоростями та бактеріями в природних умовах не спостерігаються такі антагоністичні взаємовідносини, що й підтверджує описані вище експерименти.

ВИСНОВКИ

1. Фітопланктон мезотрофної та евтрофної водойм споживав низькомолекулярні органічні речовини (амінокислоти, гідролізат водоростей) краще, ніж бактеріопланктон: упродовж доби на його частку припадало 39-82%, а впродовж літнього сезону - 52-71%. Найбільшу гетеротрофну активність мали фракції водоростей розміром до 20 мкм і до 50 мкм, на їхню частку припадало відповідно 54-66% і 56-94% від спожитого фітопланктоном РОР.

2. Питома гетеротрофна активність фітопланктону мезотрофної водойми розміром до 50 мкм була в 10-50 разів вищою, ніж більшої фракції водоростей, а бактерій - ще більше. У природних водоймах близько 80% низькомолекулярних сполук (амінокислоти, гідролізат водоростей) споживали бактерії та водорості розміром до 20 мкм.

3. У культурах найдрібніша за розміром водорість *Chlamidomonas gyrus* споживала мочену амінокислоту в 19-58 разів краще, ніж більші зелені та синьо-зелені водорості, а бактерія *Bacillus subtilis* утилізувала цю сполуку в 50 разів інтенсивніше, ніж *C. gyrus*.

4. Високомолекулярні органічні сполуки (на прикладі білка) бактеріопланктон мезотрофної водойми споживав у середньому на 20-50% більше, ніж водорості, інтенсивність споживання міченого білка пов'язана з протеолітичною активністю водних екосистем.

5. За допомогою вперше застосованого в гідробіологічних дослідженнях методу визначення протеолітичної активності з використанням поляризації флуоресценції показано, що в природних водоймах протеолітична активність протікає не тільки за присутності фіто- і бактеріопланктону, а й у профільтрованій воді. На частку фільтрату припадає 76% від протеолітичної активності угруповання фіто- та бактеріопланктону; у культурах водоростей (*Scenedesmus quadricauda*, *Chlorella vulgaris*, *Spirulina* sp. та бактерії *B. subtilis*) цей показник становив відповідно 75%, 50%, 94% та 69%. Наявність протеаз у

вільному стані дає можливість споживати продукти гідролізу субстрату всіма присутніми мікроорганізмами, як бактеріями, так і водоростями.

6. У бактеріально чистих культурах деяких зелених (*C. gyrus*. Ch. *Vulgaris*, *S. quadricauda*) і синьо-зелених (*Anabaena variabilis*, *Oscillatoria* sp.) протеолітична активність спостерігалася. Вони споживали тільки низькомолекулярні сполуки (мічені амінокислоти, дипептид), мічений білок (імуноглобулін) не включався до їхніх клітин. У культуральному середовищі *B. subtilis* спостерігався ферментативний гідроліз білка і відбувалося споживання бактеріями як низькомолекулярних, так і високомолекулярних органічних сполук.

ПРАКТИЧНІ ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

1. За зараження аксенічних культур зелених і синьо-зелених водоростей бактеріями (*B. Subtilis*) у середовищі спостерігалася протеолітична активність і відбувалося споживання міченого білка водоростями.

2. Додавання фільтрату *B. subtilis* до аксенічних культур *Anabaena variabilis* і *Scenedesmus quadricauda* приводило до появи в середовищі водоростей протеолітичних процесів і збільшення їхньої гетеротрофної активності - зеленої у 2 рази, синьо-зеленої - у 7 разів.

3. Додавання фільтрату водоростей до *B. Subtilis* не впливало на її ферментативну активність: гетеротрофна активність бактерій в одному випадку не змінювалася (за додавання фільтрату *Scenedesmus quadricauda*), а в іншому - (за додавання фільтрату *A. variabilis*) зменшувалася в 9 разів. Це вказує на те, що виділення синьо-зелених негативно впливає на споживання органічних речовин бактеріями.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аквакультура // Словник-довідник з екології : навч.-метод. посіб. / уклад. О. Г. Лановенко, О. О. Остапішина. — Херсон : П.П. Вишемирський В. С., 2013. — С. 7.
2. Алексієнко В.Р. Іхтіологія. Посібник для студентів біологічних факультетів / В.Р. Алексієнко. — К.: Український фітосоціологічний центр, 2007. — 116 с.
3. Богданова Л.Н. Характеристика зоопланктону Кременчуцького водосховища // Рибогосподарська наука України. 2015. Вип. 4(34). С. 15– 30.
4. Борщівський П. Стратегічні проблеми розвитку рибного господарства України / П. Борщівський, М. Стасішен, Н. Алесіна // Стратегія розвитку України: наук. жур. — К.: Книжкове видавництво НАУ, 2004. — № 1–2. — С. 370–388.
5. Боярин М.В, Нетробчук І. М. Основи гідроекології : теорія й практика :навч. пос. Луцьк : Вежа-Друк, 2016. 364 с.
6. Використання гідрофітних систем для відновлення якості забруднених вод. Міхєєв О.М., Маджд С.М., Лапань О.В., Кулинич Я.І., видавництво «Центр учбової літератури», м. Київ -2018 р.
7. Виноградов В.К., Золотова З.К. Вплив білого амура на екосистеми водойм // Гідробіологічний журнал. — 1974. — Т. 10. — № 2. — С.90-98.
8. Водний фонд України: Штучні водойми — водосховища і ставки: Довідник [Архівовано 11 грудня 2020 у Wayback Machine.] / За ред. В. К. Хільчевського, В. В. Гребеня. — К.: Інтерпрес, 2014. — 164 с.
9. Воловова Л.А., Студенецький С.А. Пасовищна аквакультура на прісноводних водоймах // Журнал «Рибне господарство», 1993. - № 12. -С.5-7.
10. Гринжевський М.В. Вирощування дволіток короново-сазанових гібридів у полікультурі / М.В. Гринжевський, Д.Р. Пшеничний. // Рибогосподарська наука України. — 2007. — № 1. — С. 41–45.

11. Гринжевський М.В. Економічна ефективність вирощування товарної риби за трилітнього циклу / М.В. Гринжевський, А.В. Пекарський. – К.: Світ, 2000. – 164 с.
12. Грінжевський М.В. Аквакультура України. – Львів: Вільна Україна, 1998. – С. 331.
13. Гроховська Ю.Р., Кононцев С.В., Колесник Т.М. Біологічний моніторинг водного середовища : навчальний посібник. – Рівне: НУВГП, 2010. – 161 с.
14. Довідник за властивостями, методами аналізу та очищення води // Київ: Наукова Думка, 1980. - ч. 2. - С.773-781.
15. Еколого-економічні проблеми довкілля Житомирщини. [Кол. моногр.]/ В.І. Карпов, С.П. Сіренький, В.К. Данилко та ін.; Під заг. ред. П.П. Михайленка. - Житомир, 2001. - 320 с.
16. Євтушенко М. Ю. Акліматизація гідробіонтів: підруч. / Євтушенко М. Ю., Дудник С. В., Глебова Ю. А. — К.: Аграрна освіта, 2011. — 240 с. — ISBN 978-966-2007-57-2.
17. Загальна гідробіологія. Константинов А.С. – М.: Вища школа, 1986р.
18. Збереження і моніторинг біологічного і ландшафтного різноманіття в Україні. – К.:Національний екологічний центр України, 2000 – 244с.
19. Клименко М.О., Гроховська Ю.Р. Гідроекологічний моніторинг та фітоіндикація стану водних екосистем басейну Прип'яті. Вісник НУВГП. Сільськогосподарські науки : зб. наук. праць. Рівне : НУВГП, 2014. Вип. 2 (66). С. 29–38. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ep3.nuwm.edu.ua/3608/>
20. Клименко М.О., Гроховська Ю.Р. Оцінка екологічного стану водних екосистем річок басейну Прип'яті за вищими водними рослинами. Рівне: НУВГП, 2005. 194 с.
21. Клименко О.М. Моніторинг довкілля: Підручник/ О.М. Клименко А.М. Прищеп, Н.М. Вознюк. – К. : Академія, 2006. – 360 с.

22. Коба С.А. Живлення та ріст цьогорічок коропа за спрямованого формування природної кормової бази / С.А. Коба, Т.В. Григоренко, С.А. Кражан // Рибогосподарська наука України. – 2013. – № 1. – С. 38–44.
23. Коваленко В.О. Індустріальне рибництво/В.О. Коваленко. Методичні вказівки для самостійної роботи студентів. К.: Аграр Медіа Груп, 2011. -140 с.
24. Коваленко В.О. Шляхи оптимізації та прогнозування вирощування коропових видів риб в умовах Півдня України / В.О. Коваленко, Ю.М. Воліченко, І.М. Шерман // Рибогосподарська наука України. – 2014. – № 2. – С. 46–54.
25. Козлов А.В. Розведення риби, раків, креветок у присадибній водоймі. М: ТОВ «Акваріум-Принт», 2008. 176 с.
26. Козлов А.В. Сохранение биоразнообразия ихтиофауны - основа устойчивого использования рыбных ресурсов//Матер. междунар. научн. конферен. молодых ученых "Водные биоресурсы и пути рационального использования", Киев, 2012. - С. 35-36.
27. Козлов А.В., Рубцов С.Ф Восстановление численности ручьевого форели в реке при организации коммерческого лова// Рибне господарство. - 2014. - Вып 63. - Киев. - С. 98-99
28. Лавровський В.В. Оборотно водопостачання при промисловому вирощуванні молоді райдужної форелі // Рибне госп-во, 1977. - №11. - С.58-59.
29. Лакин Г. Ф. Биометрия: Учебное пособие для биол. спец. вузов — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 1990. — 352 с.
30. Лукін В.Б. 2003. Механізми, що формують видову структуру перифітону в ході сезонної сукцесії: роль міжвидової конкуренції та осідання планктонних форм // Журн. загальної біології. Т. 64. № 3. с. 263-272.
31. Білик Г.В., Н. О. Грудко, І. М. Шерман Вплив початкової маси мальків на ефективність вирощування цьогорічок стерляді та веслоноса в умовах півдня України // Вісник аграрної науки Причорномор'я. – 2018. – Вип. 2. с. 72-77

- 32.Балтаджі Р.А. Технологія відтворення рослиноїдних риб у внутрішніх водоймах України / Р.А. Балтаджі. – К., 1996. – 63 с.
- 33.Гринжевський М.В. Вирощування дволіток короново-сазанових гібридів у полікультурі / М.В. Гринжевський, Д.Р. Пшеничний. // Рибогосподарська наука України. – 2007. – № 1. – С. 41–45.
- 34.Гринжевський М.В. Економічна ефективність вирощування товарної риби за трилітнього циклу / М.В. Гринжевський, А.В. Пекарський. – К.: Світ, 2000. – 164 с.
- 35.Коба С.А. Живлення та ріст цьоголіток коропа за спрямованого формування природної кормової бази / С.А. Коба, Т.В. Григоренко, С.А. Кражан // Рибогосподарська наука України. – 2013. – № 1. – С. 38–44.
- 36.Кражан С.А. Природна кормова база ставів / С.А. Кражан, М.І. Хижняк // Науково-виробниче видання. –Херсон: Олді-Плюс, 2009. –328 с.
- 37.Пшеничний Д.Р. Вплив щільності посадки личинок короново-сазанових гібридів на інтенсивність росту цьоголіток і рибопродуктивність вирощених ставів / Д.Р. Пшеничний, М.В. Гринжевський. // Таврійський науковий вісник ХДАУ. – Вип. 42. – С. 180–183.
- 38.Хижняк М.І. Вплив різних видів добрив на чисельність та життєдіяльність бактеріопланктону в ставках/ М.І. Хижняк, Н.В. Божок // Таврійський науковий вісник «Сучасні напрямки та проблеми аквакультури». – Херсон, 1998. – Вип. 7. – С. 395-399.
- 39.Хижняк М.І. Розвиток природної кормової бази ставів під впливом екологічно чистих добрив / М.І. Хижняк, Н.П. Чужма, А.М. Базаєва, Ю.М. Устимова // Таврійський науковий вісник. – 2003. –Вип. 29. – С. 210–214.
- 40.Хижняк М.І. Використання “ріверму” як стимулятора розвитку природної кормової бази вирощувальних ставів I порядку / М.І. Хижняк, Н.П.