

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Біотехнологічний факультет

Спеціальність 207 Водні біоресурси та аквакультура

Перший (бакалаврський) рівень вищої освіти

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ:

Завідувач кафедри
водних біоресурсів та аквакультури

д. б. н., проф. _____ Роман НОВІЦЬКИЙ

« ____ » _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти бакалавр на тему:

ОЦІНКА БІОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРИСНОВОДНИХ
ГІДРОБІОНТІВ В ПРИРОДНИХ ВОДОЙМАХ ТА В АКВАПОНЦІ
ФЕРМЕРСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ДІАНА М. ДНІПРО

Здобувач

першого (бакалаврського)

рівня вищої освіти

_____ Владислав ПИСЬМЕННИЙ

Керівниця

кваліфікаційної роботи,

к. б. н., доцентка

_____ Надія ГУБАНОВА

Дніпро – 2026

Міністерство освіти і науки України
Дніпровський державний аграрно-економічний університет
Біотехнологічний факультет
Спеціальність 207 «Водні біоресурси та аквакультура»
Освітній ступінь – «Бакалавр»
Кафедра водних біоресурсів та аквакультури

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри,

д. б. н., проф. _____ Роман НОВІЦЬКИЙ

“ _____ ” _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу здобувачу

Письменному Владиславу Вадимовичу

1. Тема роботи: «Оцінка біологічних властивостей прісноводних гідробіонтів в природних водоймах та в аквапоніці фермерського господарства Діана м. Дніпро»

Затверджена наказом по університету від “ 09 ” квітня 2026 р. № 724

2. Термін здачі здобувачем завершеної роботи “ 15 ” червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи:

4. Короткий зміст роботи - перелік питань, що розробляються в роботі:

1. Розведення гідробіонтів в штучних умовах промислово-навантажених регіонів
2. Якість води для вирощування водних біоресурсів у водоймах промислово-навантажених регіонів
3. Морфо-фізіологічні особливості гідробіонтів в умовах фермерських господарств

5. Перелік графічного матеріалу _____

6. Консультант по проекту (роботі), із зазначенням розділів проекту, що їх стосуються

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях			

7. Дата видачі завдання: “_____” _____ 20__ р.

Керівниця _____ Надія ГУБАНОВА

Завдання прийняв
до виконання _____ Владислав ПИСЬМЕННИЙ

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Етапи дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Визначення теми роботи. Отримання завдання	лютий	
2.	Опрацювання літературних джерел	лютий	
3.	Технологічні особливості проведення дослідження	березень	
4.	Проведення експериментальних робіт в водоймі	березень	
5.	Проведення економічного обґрунтування проведеної роботи та написання розділів роботи.	квітень	
6.	Підведення підсумків роботи та формування висновків	травень	
7.	Оформлення роботи до захисту та підготовка презентації	червень	

Здобувач вищої освіти _____ Владислав ПИСЬМЕННИЙ

Керівниця роботи _____ Надія ГУБАНОВА

АНОТАЦІЯ

дипломної роботи на здобуття освітнього ступеня «Бакалавр» студента 4 курсу навчання кафедри водних біоресурсів та аквакультури денної форми навчання біотехнологічного факультету ДДАЕУ Письменного Владислава Вадимовича «Оцінка біологічних властивостей прісноводних гідробіонтів в природних водоймах та в аквапоніці фермерського господарства Діана м. Дніпро»

Кваліфікаційна робота присвячена розгляду питання морфологічних перебудов в організмі коропових риб та рослин в умовах фермерського господарства «Діана м. Дніпро».

Метою роботи було розглянути питання вирощування коропових риб в умовах аквапоніки фермерського господарства «Діана (м. Дніпро).

Результати цієї роботи мають практичне значення як для фахівців у галузі рибальства та аквакультури так і для природоохоронної галузі.

Робота містить 50 сторінок машинописного тексту, вміщує 3 таблиці, 13 рисунків та 37 джерел (23 англомовних), складається з розділів: перелік умовних позначень, вступ, огляд літератури, умови, матеріали та методи виконання роботи, результати власних досліджень, досліджень окремих груп гідробіонтів, безпека в надзвичайних ситуаціях та охороні праці, висновки.

Ключові слова: аквапоніка, коропові риби, забруднення водойм

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	6
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ОЦІНКА БІОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГІДРОБІОНТІВ В АКВАПОНІЦІ.....	9
1.1. Порівняльна характеристика біологічних показників природних та аквапонних систем в сільському господарстві	9
1.2. Основні групи гідробіонтів аквапонних систем.....	14
1.3. Економічні переваги та недоліки аквапонних систем.....	20
РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	23
2.1. Характеристика фермерського господарства «Діана».....	23
2.2. Методи дослідження та контроль параметрів в аквапонній системі.....	25
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	33
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	37
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ.....	40
5.1. Загальні принципи організації безпеки життєдіяльності.....	40
5.2. Заходи щодо забезпечення безпечних умов праці.....	41
ВИСНОВКИ.....	44
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	45

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

FAO – міжнародна організація

БАР – біологічно активні речовини

FCR - коефіцієнт корму

pH – водневий показник

УЗВ – установки замкненого водопостачання

КН – коефіцієнт накопичення

ОР – органічна речовина

ПАР – поверхнево активні речовини

ВСТУП

Сучасний розвиток агротехнологій спрямований на пошук ефективних і екологічно безпечних способів вирощування рослин. Одним із таких інноваційних напрямів є аквапоніка як інтегрована система, що поєднує вирощування гідробіонтів та рослин у спільному водному середовищі. У цій системі відходи життєдіяльності риб перетворюються мікроорганізмами на поживні речовини, які використовуються рослинами як природне добриво. Таким чином, аквапоніка є замкненою екосистемою, що забезпечує мінімальне споживання води та відсутність забруднення довкілля [5, 14].

Традиційне ґрунтове вирощування рослин залишається основним методом у сільському господарстві, проте воно потребує значних ресурсів серед яких основними є вода, добрива і засоби захисту рослин. У зв'язку з цим актуальним стає порівняння фізіолого-біологічних властивостей рослин, вирощених у ґрунті та в аквапонічних системах, що дозволяє визначити переваги й потенційні обмеження кожного підходу.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю розробки альтернативних технологій вирощування рослин в умовах зміни клімату, деградації ґрунтів і дефіциту водних ресурсів. Вивчення біологічних властивостей рослин у різних середовищах дає можливість глибше зрозуміти адаптаційні механізми їх росту, фотосинтетичну активність, засвоєння поживних речовин і формування біомаси. Наукова новизна дослідження полягає в оцінці ефективності використання продуктів життєдіяльності риб як біодобрива та у встановленні оптимального рівня концентрації азоту та фосфору в аквапонічній системі для стимуляції росту зелених культур без додаткового внесення мінеральних добрив.

Об'єкт дослідження: рослини зелених культур (базилік *Ocimum basilicum* L. та салат *Lactuca sativa* L.), вирощені у ґрунті та аквапонічних системах.

Предмет дослідження: біологічні властивості рослин, включаючи морфометричні, фізіолого-біохімічні показники та продуктивність у різних середовищах вирощування.

Мета дослідження: дослідити біологічні властивості рослин у ґрунтовому та аквапонічному середовищі та визначити вплив типу середовища на ріст, розвиток і фізіолого-біохімічні показники рослин.

Завдання дослідження:

- оцінити морфологічні показники рослин (висота, площа листкової поверхні, суха маса) у ґрунті та аквапоніці.
- визначити фотосинтетичну активність та вміст хлорофілу у листках рослин.
- оцінити біохімічний склад риби вміст білків, цукрів, вітамінів.
- проаналізувати вплив виду риби та умов аквапоніки на продуктивність рослин.

Визначити ефективність використання аквапонічних систем порівняно з традиційним ґрунтовим вирощуванням.

РОЗДІЛ 1. ОЦІНКА БІОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГІДРОБІОНТІВ В АКВАПОНІЦІ

1.1. Порівняльна характеристика біологічних показників природних та аквапонних систем в сільському господарстві

Зрошення відіграє ключову роль у забезпеченні стабільного сільськогосподарського виробництва, особливо в регіонах із недостатньою кількістю атмосферних опадів. Залежно від особливостей вирощуваних культур, типу ґрунтів та доступності водних ресурсів застосовують різні способи зрошення, зокрема поверхнєве, дощувальне, крапельне та підземне. В умовах зростання чисельності населення, посилення дефіциту прісної води та поглиблення екологічних проблем питання підвищення ефективності використання водних ресурсів набуває особливої актуальності [1]. Традиційні системи зрошення нерідко супроводжуються значними втратами води внаслідок випаровування, поверхневого стоку та нерівномірного її розподілу. Це стимулює науковців до пошуку та впровадження альтернативних технологій, спрямованих на оптимізацію водокористування, підвищення продуктивності агровиробництва та забезпечення екологічної стійкості аграрних систем [1–7].

Аквапоніка являє собою інтегровану систему, в якій продукти життєдіяльності риб використовуються як джерело поживних речовин для рослин та одним із перспективних напрямів розвитку сучасного сільського господарства як інтегрована система, що поєднує елементи аквакультури та гідропоніки. Ця інноваційна технологія базується на взаємодії процесів вирощування водних організмів і рослин без використання ґрунту, формуючи замкнений цикл використання води та поживних речовин. Завдяки такому підходу аквапоніка забезпечує ефективне використання ресурсів, сприяє підвищенню продовольчої безпеки та зменшує негативний вплив на навколишнє середовище. Основою функціонування аквапонної системи є симбіотичні взаємозв'язки між рибами, рослинами та мікроорганізмами, що

забезпечують очищення води та трансформацію органічних сполук у доступні для рослин поживні елементи.

У таких системах формується специфічна біоплівка, основу якої становлять колонії бактерій, грибів, водоростей та інших мікроорганізмів, які відіграють важливу роль у процесах біологічної фільтрації та підтриманні стабільного функціонування екосистеми. Важливого значення набувають нітрифікуючі бактерії такі як *Nitrosomonas*, *Nitrobacter*, *Nitrospira*.

В порівнянні з природними водоймами аквапонні системи для вирощування сільськогосподарської продукції характеризуються меншою видовою різноманітністю, вищою стабільністю умов середовища, контрольованими параметрами якості води, високою продуктивністю біофільтрації.

Порівняльний аналіз біологічних характеристик природних водойм та аквапонних систем свідчить про наявність суттєвих відмінностей між цими середовищами. Для природних водойм характерне високе видове різноманіття гідробіонтів, що зумовлено різноманітністю екологічних ніш та природних умов існування. В аквапонних системах видовий склад зазвичай є менш різноманітним, оскільки функціонування таких систем спрямоване на підтримання обмеженої кількості видів риби, рослин і мікроорганізмів [13].

Чисельність бактеріальних угруповань у природних водоймах перебуває на середньому рівні та значною мірою залежить від сезонних змін і впливу зовнішніх факторів. В аквапоніці концентрація бактерій є вищою завдяки наявності розвиненої біофільтрації, де нітрифікуючі бактерії забезпечують перетворення продуктів життєдіяльності риби у доступні для рослин поживні речовини.

Стабільність умов середовища у природних водоймах відносно низька через вплив кліматичних факторів, коливання температури, рівня води та інших природних процесів. Натомість в аквапонних системах параметри водного середовища постійно контролюються та регулюються, що забезпечує високу стабільність екосистеми.

Біомаса гідробіонтів у природних водоймах може суттєво змінюватися залежно від сезону, кормової бази та екологічного стану водойми. В аквапоніці біомаса підтримується на відносно стабільному рівні завдяки контрольованим умовам вирощування та регулярному надходженню поживних речовин [19].

Процеси самоочищення у природних водоймах відбуваються природним шляхом за участю мікроорганізмів, водної рослинності та фізико-хімічних процесів. В аквапонних системах очищення води є керованим процесом, який здійснюється за допомогою біофільтрів, рослинних компонентів та контролю параметрів середовища, що забезпечує високу ефективність рециркуляції води (Рис. 1.1).

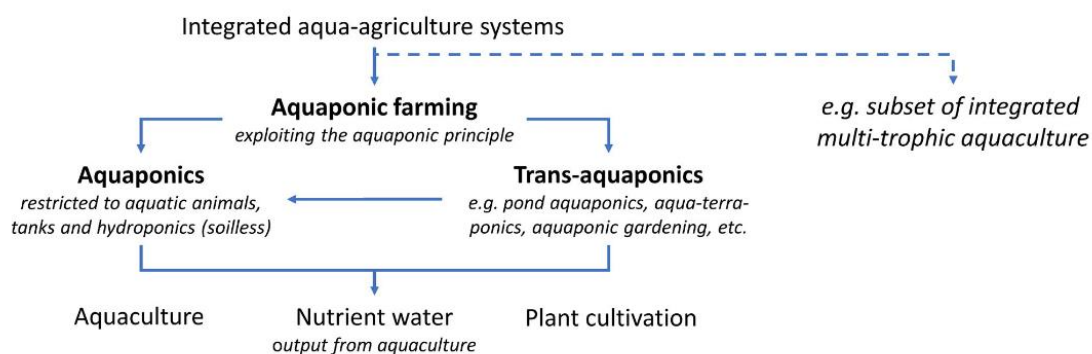


Рис. 1.1. Складові функціонування аквапонної системи

Аквапоніка є інтегрованою біотехнологічною системою, яка поєднує аквакультуру та гідропоніку. Основними компонентами аквапонної системи є рибницький басейн, обов'язкова наявність механічного фільтра, біофільтр, гідропонний модуль, система циркуляції води.

Принцип функціонування системи ґрунтується на використанні продуктів обміну риб як джерела поживних речовин для рослин. Аквапонні системи мають нижчий рівень біорізноманіття, проте забезпечують стабільність екологічних параметрів і високу продуктивність. Основними відмінностями є контрольований гідрохімічний режим, замкнений цикл

використання води, висока щільність утримання гідробіонтів, інтенсивні процеси біофільтрації.

Вода в аквапонних системах може надходити з різних джерел залежно від масштабу господарства, технічних можливостей та якості доступних водних ресурсів. Найчастіше використовуються такі джерела як водопровідна вода, що є найбільш поширеним джерелом для невеликих та середніх аквапонних систем. Перед використанням таку воду часто відстоюють або додатково обробляють для видалення хлору та інших дезінфікуючих речовин, які можуть негативно впливати на рибу і корисні бактерії.

Підземні води із свердловин та колодязів характеризуються відносно стабільним хімічним складом і температурою. Перед запуском у систему необхідно провести гідрохімічний аналіз води на вміст заліза, сірководню, жорсткість, кислотність та інші показники. Дощова вода також може використовуватися як додаткове джерело після очищення та контролю якості. Вона зазвичай має низьку мінералізацію, але може містити забруднення, що потрапляють із поверхонь збору [1, 9, 16]

Поверхневі води річок, озер або ставків можуть застосовуватися переважно у великих господарствах. Таку воду обов'язково фільтрують та знезаражують через ризик занесення патогенних мікроорганізмів, паразитів або небажаних хімічних речовин.

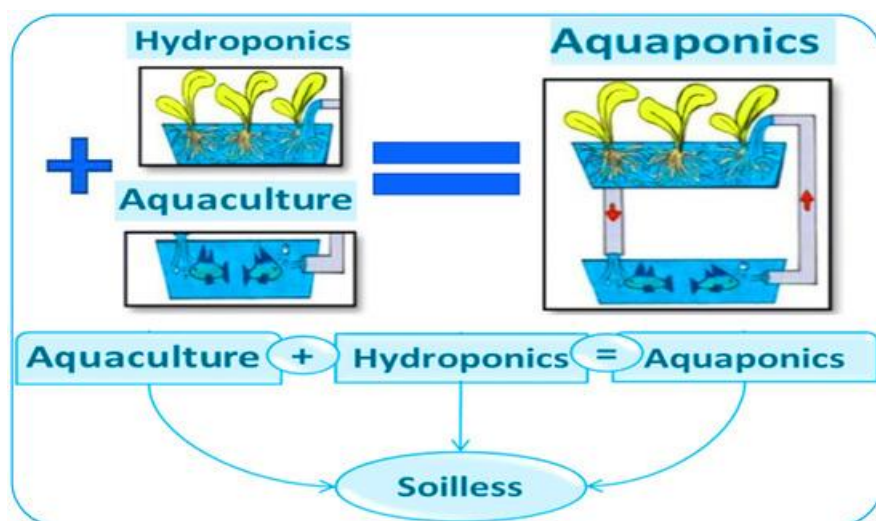


Рис. 1.2. Циркуляція води в аквапонних системах

Особливістю аквапоніки є те, що після первинного заповнення системи потреба у свіжій воді значно зменшується. Вода постійно циркулює між рибними басейнами, біофільтрами та рослинними модулями, а її поповнення здійснюється переважно для компенсації втрат через випаровування, транспірацію рослин, видалення осаду під час обслуговування системи, незначні технологічні втрати [24].

Для ефективної роботи системи вода повинна відповідати вимогам як для гідробіонтів, так і для рослин, зокрема мати оптимальні значення рН, температури, вмісту розчиненого кисню та низькі концентрації токсичних сполук (Рис. 1.3).

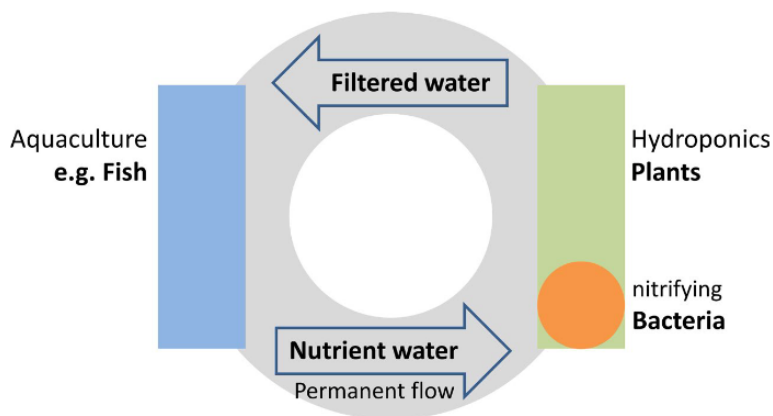


Рис. 1.3. Водопостачання в аквапонних системах

Завдяки рециркуляції аквапонні системи споживають на 80–95 % менше води порівняно з традиційним ґрунтовим землеробством, що робить їх одними з найбільш водоощадних технологій виробництва харчової продукції. Сучасні тенденції розвитку аквакультури спрямовані на впровадження ресурсозберігаючих технологій. Аквапоніка дозволяє скоротити споживання води порівняно з традиційним землеробством та одночасно отримувати рибну і рослинну продукцію.

1.2. Основні групи гідробіонтів аквапонних систем

В основі функціонування аквапонних систем знаходиться бактеріопланктон.

Бактерії роду *Nitrosomonas* належать до хемоавтотрофних нітрифікуючих мікроорганізмів, які відіграють ключову роль у кругообігу азоту у водних екосистемах та аквапонних системах. Їх основною функцією є окиснення амонійного азоту до нітритів, що становить першу стадію процесу нітрифікації.

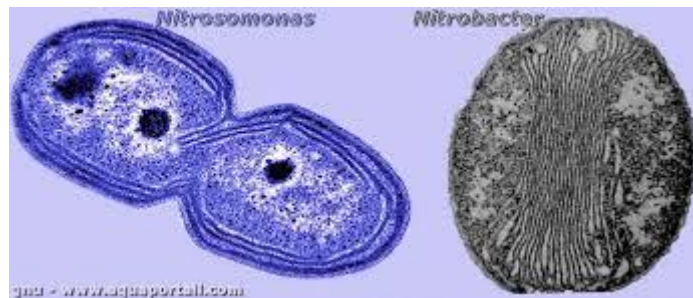
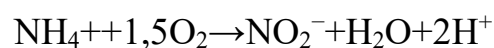


Рис 1.4. Бактерії роду *Nitrosomonas*

Представники роду *Nitrosomonas* є грамнегативними бактеріями сферичної або паличкоподібної форми розміром від 0,5 до 2,0 мкм. Вони отримують енергію в результаті окиснення аміаку, а джерелом вуглецю для синтезу органічних речовин використовують вуглекислий газ. Завдяки цьому бактерії можуть розвиватися без участі органічних сполук. У природних водоймах *Nitrosomonas* зустрічаються в донних відкладах, товщі води, перифітонні та біоплівках. Особливо інтенсивно вони розвиваються у водоймах із високим вмістом органічних речовин та продуктів азотного обміну.

У системах аквапоніки бактерії *Nitrosomonas* заселяють поверхню біофільтрів, трубопроводів, гравійних субстратів та корневих систем рослин. Вони використовують амоній, що надходить у воду з екскрементами риб і залишками корму.

Основний процес, який здійснюють ці бактерії:



У результаті реакції токсичний для риб амоній перетворюється на нітрит. Хоча нітрити також можуть бути небезпечними для водних організмів, вони швидко окиснюються бактеріями роду *Nitrobacter* або *Nitrospira* до нітратів, які є основним джерелом азоту для рослин. Для ефективного розвитку бактерій *Nitrosomonas* необхідні такі умови:

температура води 20–30 °C;

концентрація розчиненого кисню понад 4–5 мг/дм³;

pH середовища 7,0–8,0;

наявність амонійного азоту;

добре розвинена поверхня для утворення біоплівки.

Бактерії характеризуються відносно повільним ростом. За сприятливих умов подвоєння їхньої чисельності може відбуватися протягом 7–24 годин, а формування стабільної популяції в новій аквапонній системі зазвичай триває 3–6 тижнів.

Біологічне значення *Nitrosomonas* полягає в тому, що вони знижують токсичність водного середовища для риб, забезпечують початковий етап нітрифікації, підтримують стабільність азотного циклу, сприяють ефективному функціонуванню біофільтрів, підвищують продуктивність аквапонних систем.

Таким чином, бактерії роду *Nitrosomonas* є одним із найважливіших компонентів біофільтрації в аквапоніці, оскільки саме вони забезпечують перетворення токсичних сполук азоту на форми, придатні для подальшого використання рослинами та іншими мікроорганізмами екосистеми.

Бактерії роду *Nitrobacter* належать до хемоавтотрофних аеробних мікроорганізмів, які здійснюють другу стадію нітрифікації окиснення нітритів до нітратів. Цей процес є надзвичайно важливим для підтримання якості води в природних водоймах, системах рециркуляційної аквакультури та аквапоніці.

Представники роду *Nitrobacter* є грамнегативними бактеріями паличкоподібної або грушоподібної форми. Розміри клітин зазвичай становлять 0,5–1,0 × 1,0–2,0 мкм. Вони не утворюють спор і розмножуються

шляхом поділу клітини. На відміну від гетеротрофних бактерій, *Nitrobacter* отримують енергію внаслідок окиснення неорганічних сполук азоту. Джерелом вуглецю для синтезу органічних речовин служить вуглекислий газ, тому їх відносять до хемоавтотрофів.

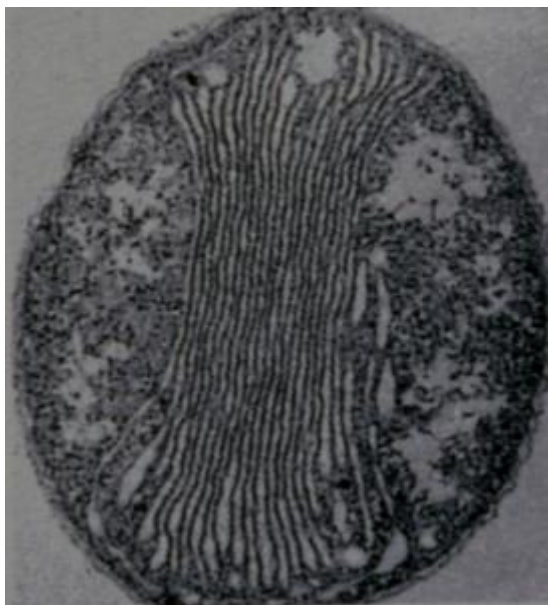


Рис 1.5 Бактерії роду *Nitrobacter*

Основна реакція, яку здійснюють бактерії роду *Nitrobacter*:



У процесі реакції токсичні нітрити перетворюються на нітрати, які значно менш небезпечні для риб та легко засвоюються рослинами. Саме тому *Nitrobacter* є невід'ємною складовою біофільтрації в аквапонних системах. У природних водоймах бактерії цього роду поширені в донних відкладах, біоплівках на рослинах, камінні та інших занурених субстратах. В аквапонних установках вони концентруються переважно на поверхні біофільтрів, керамзиту, гравію, пластикових наповнювачів та коренів рослин.

Для нормального розвитку *Nitrobacter* необхідні:

температура води 20–30 °C;

pH 7,0–8,5;

висока концентрація розчиненого кисню (не менше 4–5 мг/дм³);

наявність нітритів;

достатня площа поверхні для формування біоплівки.

Бактерії роду *Nitrobacter* ростуть повільніше за більшість гетеротрофних мікроорганізмів. Формування стабільної популяції в новоствореній аквапонній системі може тривати від декількох тижнів до двох місяців.

Біологічне значення *Nitrobacter* полягає у тому, що вони:

завершують процес нітрифікації;

знижують концентрацію токсичних нітритів;

забезпечують рослини доступними формами азоту;

підтримують стабільність азотного циклу;

підвищують ефективність біологічного очищення води.

У сучасних дослідженнях встановлено, що в багатьох аквапонних та рециркуляційних системах важливу роль у процесі окиснення нітритів також відіграють бактерії роду *Nitrospira*, які нерідко домінують над *Nitrobacter* у зрілих біофільтрах. Проте *Nitrobacter* залишаються класичним прикладом нітритокиснювальних бактерій і є важливою ланкою біологічного очищення води.

Таким чином, бактерії роду *Nitrobacter* забезпечують перетворення нітритів у нітрати, завершуючи процес нітрифікації та створюючи умови для ефективного функціонування аквапонної системи, росту рослин і підтримання здоров'я риб.

Бактерії роду *Nitrospira* належать до групи хемоавтотрофних аеробних мікроорганізмів, які відіграють одну з найважливіших ролей у кругообігу азоту. Вони беруть участь у процесі нітрифікації, забезпечуючи перетворення токсичних азотних сполук на форми, доступні для засвоєння рослинами. Сучасні дослідження свідчать, що саме представники роду *Nitrospira* часто домінують у біофільтрах аквапонних та рециркуляційних систем.

Рід *Nitrospira* був описаний відносно недавно порівняно з класичними нітрифікаторами *Nitrosomonas* і *Nitrobacter*. Клітини цих бактерій мають спіралеподібну або вигнуту паличкоподібну форму, що відображено в назві

роду. Вони є грамнегативними, не утворюють спор та розвиваються переважно у вигляді біоплівки на твердих поверхнях.

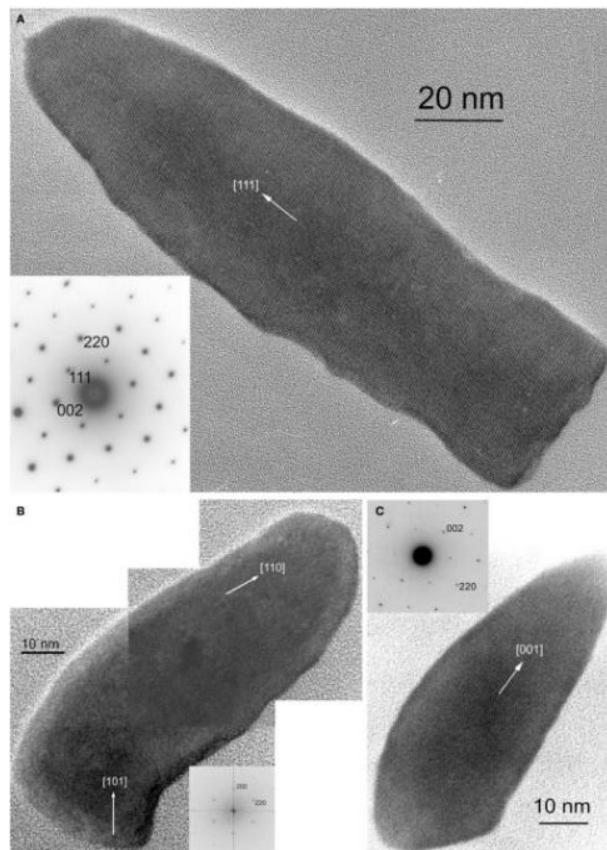
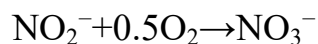


Рис 1.6. Бактерії роду *Nitrobacter*

Тривалий час вважалося, що *Nitrospira* виконує лише другу стадію нітрифікації - окиснення нітритів до нітратів:



Однак останні молекулярно-біологічні дослідження показали, що деякі види *Nitrospira* здатні здійснювати повний цикл нітрифікації самостійно. Такі бактерії отримали назву *comammox* (complete ammonia oxidation), тобто бактерії повного окиснення аміаку.

У цьому випадку відбувається послідовне перетворення:



Це відкриття суттєво змінило уявлення про функціонування азотного циклу в біофільтрах аквапонних систем.

У природних водоймах бактерії *Nitrospira* поширені в донних відкладах, мулі, перифітоні, кореневих зонах водних рослин та біоплівках на занурених субстратах. В аквапонних системах вони активно колонізують поверхню біофільтрів, трубопроводів, пластикових наповнювачів, гравію та кореневих систем рослин.

Для розвитку *Nitrospira* необхідні такі умови:

- температура води 20–30 °C;
- концентрація розчиненого кисню понад 4 мг/дм³;
- рН 6,8–8,0;
- постійне надходження амонію або нітритів;
- велика площа поверхні для формування біоплівки.

Особливістю *Nitrospira* є висока ефективність роботи навіть за дуже низьких концентрацій азотних сполук. Завдяки цьому вони часто витісняють бактерії роду *Nitrobacter* у зрілих біофільтрах.

У функціонуванні аквапонних систем *Nitrospira* виконують низку важливих завдань:

- підтримують стабільний азотний цикл;
- знижують токсичність аміаку та нітритів;
- забезпечують рослини нітратним азотом;
- підвищують ефективність біологічного очищення води;
- стабілізують мікробіологічну рівновагу системи.

Завдяки високій адаптивності до умов замкненого водопостачання бактерії *Nitrospira* сьогодні вважаються одними з найважливіших компонентів біофільтрів аквапонних установок. Їхня діяльність забезпечує безпечні умови для вирощування риб та створює оптимальне середовище для росту рослин [15, 19].

Таким чином, представники роду *Nitrospira* є ключовою ланкою азотного циклу в аквапоніці. Вони здійснюють окиснення нітритів до нітратів, а окремі

види здатні повністю перетворювати амоній на нітрати, що робить їх надзвичайно важливими для стабільної роботи сучасних аквапонних систем.

1.3. Економічні переваги та недоліки аквапонних систем

Аквапоніка є інноваційною технологією виробництва сільськогосподарської продукції, яка поєднує елементи аквакультури та гідропоніки в єдиній замкненій системі. Завдяки ефективному використанню водних ресурсів, поживних речовин та виробничих площ аквапонні системи розглядаються як перспективний напрям розвитку сучасного аграрного сектору. Водночас їх впровадження пов'язане як із низкою економічних переваг, так і з певними обмеженнями. Аквапоніка як будь-який метод має свої переваги та недоліки.

Однією з головних переваг аквапоніки є можливість одночасного отримання двох видів продукції таких як риби та рослин. Такий підхід дозволяє підвищити економічну ефективність виробництва за рахунок диверсифікації продукції та більш раціонального використання ресурсів. Продукти життєдіяльності риб використовуються як джерело поживних речовин для рослин, що створює замкнений цикл обміну речовин і сприяє підвищенню продуктивності системи.

Важливою економічною перевагою є значна економія води. У порівнянні з традиційними методами землеробства аквапонні системи споживають на 70–95 % менше води завдяки її постійній рециркуляції. Це особливо актуально для регіонів із дефіцитом водних ресурсів та в умовах змін клімату.

Додатковою перевагою є відсутність необхідності застосування мінеральних добрив. Рослини отримують необхідні поживні елементи безпосередньо з води, збагаченої продуктами метаболізму риб. Це дозволяє скоротити витрати на придбання добрив та зменшити ризик забруднення навколишнього середовища хімічними сполуками.

Аквапонні системи характеризуються високою продуктивністю на одиницю площі. Завдяки інтенсивному вирощуванню рослин і риб в

контрольованих умовах можна отримувати значно більші обсяги продукції порівняно з традиційними технологіями. Крім того, використання теплиць або закритих приміщень забезпечує можливість цілорічного виробництва незалежно від сезонних коливань погодних умов.

Ще однією економічною перевагою є скорочення витрат на очищення та утилізацію стічних вод. Біологічне очищення води за участю рослин та мікроорганізмів дає змогу багаторазово використовувати воду в системі, зменшуючи обсяг стоків і відповідні витрати на їх обробку.

Разом із тим впровадження аквапонних технологій супроводжується певними економічними труднощами. Насамперед це значні початкові капіталовкладення, необхідні для придбання резервуарів, насосного обладнання, систем аерації, біофільтрів, трубопроводів та автоматизованих систем контролю параметрів середовища. Вартість створення повноцінного аквапонного комплексу суттєво перевищує витрати на організацію традиційного ставового господарства або відкритого ґрунтового вирощування рослин.

Суттєвою статтею експлуатаційних витрат є споживання електроенергії. Для забезпечення безперервної роботи насосів, компресорів, освітлення та систем автоматичного контролю необхідне постійне електропостачання. Особливо це актуально для великих промислових систем та господарств, що працюють у закритих приміщеннях.

Функціонування аквапонної системи вимагає постійного моніторингу якості води. Навіть незначні зміни концентрації розчиненого кисню, показника рН або вмісту азотних сполук можуть негативно вплинути на стан риб, рослин і мікроорганізмів. Тому господарство потребує сучасного обладнання та регулярного контролю технологічних параметрів.

Додатковою проблемою є необхідність залучення кваліфікованого персоналу, який повинен володіти знаннями в галузі аквакультури, рослинництва, гідрохімії та експлуатації технічного обладнання. Нестача

фахівців може ускладнювати впровадження та ефективне використання таких систем.

Окрему небезпеку становлять можливі розлади в роботі систем циркуляції води. Припинення подачі води або аерації навіть на короткий час може призвести до погіршення якості середовища, загибелі риби та зниження продуктивності рослин, що супроводжується значними економічними втратами.

Таким чином, аквапоніка має значний потенціал для розвитку сучасного сільського господарства завдяки високій ресурсній ефективності, можливості одночасного виробництва риби та рослинної продукції, а також раціональному використанню водних ресурсів. Проте успішне впровадження цієї технології потребує значних інвестицій, високого рівня технічного забезпечення та професійного управління виробничими процесами.

РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Характеристика фермерського господарства «Діана»

Фермерське господарство знаходиться в Амур-Нижньодніпровському районі міста Дніпро. На його території функціонує кілька ставків, у яких утримуються різні види риби різного віку. Дослідження виконувалися на базі ставового рибницького господарства, основним напрямом діяльності якого є вирощування коропових риби [15]. Розташування господарства в степовій зоні України з помірно континентальним кліматом, тривалим теплим періодом та достатньою сумою активних температур створює сприятливі умови для розвитку ставової аквакультури.

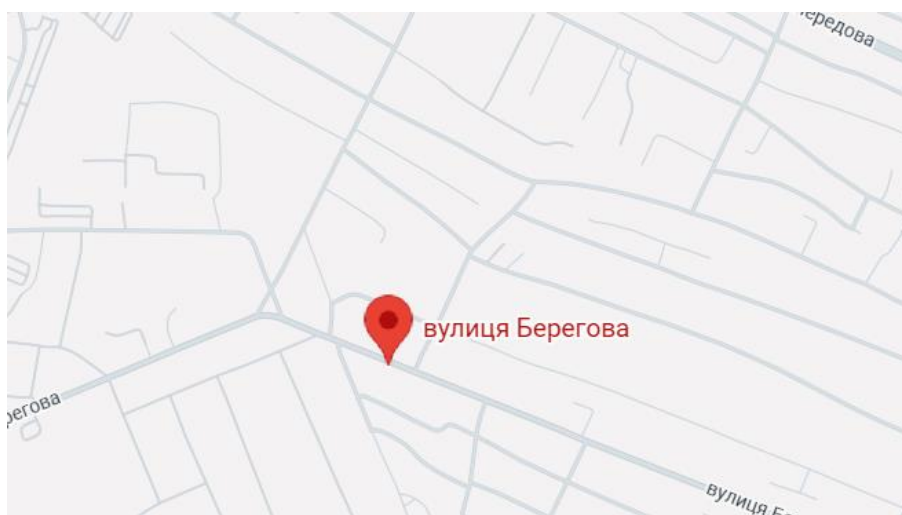


Рис. 2.1. Розташування господарства

Водні ресурси господарства представлені комплексом земляних ставів різного функціонального призначення, серед яких виділяють маточні, нерестові, вирощувальні та нагульні водойми. Більшість ставів мають видовжену або прямокутну конфігурацію. Середня глибина водойм становить від 1,2 до 1,8 м, що сприяє ефективному прогріванню водної товщі протягом вегетаційного сезону та забезпечує сприятливі умови для розвитку природної кормової бази. Донні відклади представлені переважно ґрунтовими та мулистими субстратами, які створюють оптимальні умови для формування та розвитку фітопланктонних і зоопланктонних угруповань, що є важливим джерелом живлення для риби на ранніх етапах онтогенезу [11, 14].

Одним із перспективних напрямів розвитку господарства є впровадження сучасних аквапонних технологій, що поєднують вирощування риби та рослин у єдиній замкненій екосистемі. Основним прагненням господарства є підвищення ефективності використання водних, земельних та енергетичних ресурсів шляхом переходу до більш екологічно безпечних та ресурсозберігаючих методів виробництва [7, 12, 27].

Важливим завданням є створення аквапонного комплексу, який дозволить одночасно отримувати високоякісну рибну продукцію та рослинну сировину без використання значних площ сільськогосподарських угідь. Запровадження такої технології сприятиме скороченню споживання води завдяки її багаторазовому використанню в замкненому циклі та зменшенню обсягів скидання стічних вод у навколишнє середовище (Рис. 2.2).



Рис. 2.2. Приклад аквапонної системи

Господарство прагне оптимізувати використання продуктів життєдіяльності риб, перетворюючи їх на джерело поживних речовин для рослин. Це дозволить знизити витрати на мінеральні добрива та підвищити екологічну безпеку виробництва. Особлива увага приділяється впровадженню біологічних методів очищення води за участю нітрифікуючих бактерій та рослинних культур.

Перспективним напрямом розвитку є вирощування в аквапонних системах швидкокорослих овочевих, пряно-ароматичних та зеленних культур, таких як салат, базилік, кріп, петрушка та зелена цибуля, що користуються стабільним попитом на ринку. Паралельно планується дослідження можливостей вирощування коропа, товстолобика та інших видів риб у поєднанні з рослинними компонентами системи.

Крім виробничої діяльності, господарство зацікавлене у проведенні науково-практичних досліджень щодо підвищення продуктивності аквапонних систем, удосконалення біофільтрації та оцінки екологічної ефективності інтегрованого вирощування гідробіонтів і рослин. Отримані результати можуть бути використані для розроблення рекомендацій щодо впровадження аквапоніки в умовах Дніпропетровської області та інших регіонів України.

У довгостроковій перспективі господарство прагне стати сучасним багатофункціональним центром екологічно орієнтованого рибництва та рослинництва, що поєднує виробництво якісної продукції, раціональне використання природних ресурсів і впровадження інноваційних технологій аквакультури.

2.2. Методи дослідження та контроль параметрів в аквапонній системі

Для оцінки ефективності функціонування аквапонної системи проводили комплексні дослідження, спрямовані на вивчення гідрохімічних, гідробіологічних та рибницько-біологічних показників. Систематичний контроль параметрів водного середовища дозволяє підтримувати оптимальні умови для життєдіяльності гідробіонтів, розвитку нітрифікуючих бактерій та росту рослин.

Одним із найважливіших напрямів досліджень є моніторинг гідрохімічного режиму води. У процесі експлуатації аквапонної системи регулярно визначають температуру води, водневий показник (рН), концентрацію розчиненого кисню, вміст амонійного азоту, нітритів та нітратів.

Контроль цих показників необхідний для забезпечення стабільного перебігу процесів нітрифікації та запобігання накопиченню токсичних сполук азоту. Температуру води вимірюють електронним термометром, концентрацію розчиненого кисню – оксиметром, а вміст азотних сполук визначають за допомогою тест-систем або фотометричних методів.

Особлива увага приділяється дослідженню бактеріальних угруповань біофільтра. У біофільтраційних модулях формуються специфічні біоплівки, до складу яких входять бактерії родів *Nitrosomonas*, *Nitrobacter* та *Nitrospira*. Ці мікроорганізми забезпечують біологічне очищення води шляхом окиснення амонію до нітритів і подальшого перетворення нітритів у нітрати, які використовуються рослинами як джерело мінерального живлення. Для оцінки ефективності роботи біофільтра визначають чисельність бактерій та інтенсивність процесів нітрифікації.

Важливим елементом досліджень є оцінка біологічних показників риб. В аквапоніці використовують різні види риб, але з урахуванням початкового етапу роботи фермерського господарства «Діана» в даному напрямку, за основу взято корошових риб, саме коропа звичайного. Під час експерименту проводять регулярне зважування особин для визначення динаміки росту. На основі отриманих даних розраховують абсолютний приріст маси, середньодобовий приріст, специфічну швидкість росту та кормовий коефіцієнт. Для морфометричного аналізу вимірюють довжину тіла, висоту тіла та інші лінійні показники, що дають можливість оцінити фізіологічний стан гідробіонтів.

Важливим показником є абсолютний приріст маси риби:

$$\Delta W = W_2 - W_1$$

де

ΔW - абсолютний приріст маси, г;

W_1 - середня маса риби на початку періоду, г;

W_2 - середня маса риби наприкінці періоду, г.

Даний показник також використовується для визначення лінійного росту молоді риб:

$$\Delta L = L_2 - L_1$$

де

ΔL - абсолютний приріст довжини, см;

L_1, L_2 - середня довжина риби на початку та в кінці періоду відповідно, см

(Рис. 2.3).

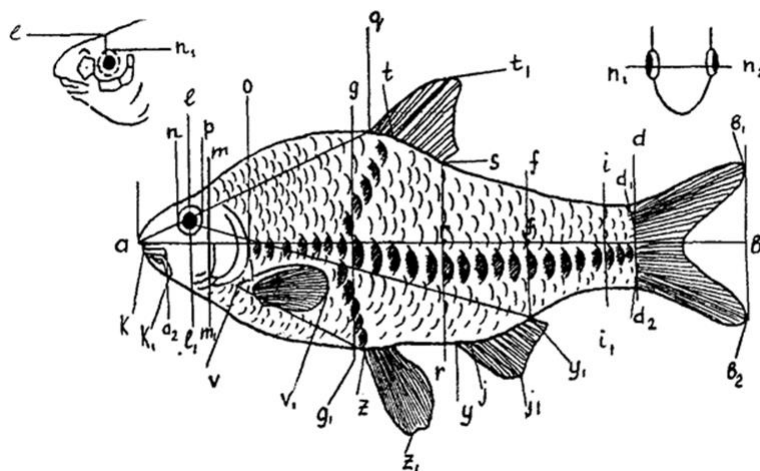


Рис. 2.3. Вимірювання меристичних ознак у корокових риб

aB -- довжина всієї риби (L); **ad** -- довжина без-
хвостового плавця (стандартна) (1); **od** -- довжина тулуба (l_{cor}); **an** --
довжина риля (l_r); **np** -- діаметр ока (d_o); **po** -- позаочна відстань (p_o); **lnl**
-- висота лоба (h_o); **ln2** -- ширина лоба (i_o); **aa2** --
довжина верхньої щелепи (m_x); **kkl** --
довжина нижньої щелепи (m_n); **ao** -- довжина голови (l_c); **mml** --
висота голови біля потилиці (h_c); **lll** -- висота голови через середину
ока (h_{cl}); **ggl** -- найбільша висота тіла (H); **iil** -- найменша висота
тіла (h); **aq** -- антедорсальна відстань (**ad**); **zd** -- постдорсальна відстань
(p_D); **fd** -- довжина хвостового стебла (pl); **av** -- антепектральна
відстань (a_P); **az** -- антевентральна відстань (**av**); **ay** --

·антеанальна·відстань· (aA);· **qs**·-
·довжина·основи·спинного·плавця·(lD);·**ttl**, -- найбільша·висота·
спинного·плавця·(**hD**);·**yyl**·-·довжина·основи·анального·плавця·(lA);·**jjl**
·найбільша·висота·анального·плавця·(hA);·**vv1**·довжина·грудного·плавця·(lP
)z·довжина·черевного·плавця·(!V);·**vz**·пектровентральна·відстань·(PY);·**zy**·-
·вентроанальна·відстань·(VA);·**dlb1**·довжина·верхньої·лопаті·хвостового
плавця;(1C1);·**d2b2**·--довжина·нижньої·лопаті·хвостового·плавця·(1C2).

Крім того, визначають виживаність риб, яка характеризує ефективність технології вирощування та якість умов утримання.

Оптимальними умовами для вирощування коропа звичайного (*Cyprinus carpio*) є температура води 20–28 °, водневий показник кислотності 6,5–8,5, а вміст вільного кисню у воді 4,0. За типом харчування короп невимогливий, всеїдний з коефіцієнтом FCR 1,5–2,0.

Паралельно проводять дослідження рослинного компонента системи. Визначають висоту рослин, кількість листків, площу листової поверхні, довжину кореневої системи, масу надземної та підземної частин. Отримані показники дозволяють оцінити ефективність використання поживних речовин, що надходять у систему з продуктами життєдіяльності риб. Особливу увагу приділяють урожайності рослин, яка є одним із головних критеріїв продуктивності аквапонної технології.

Для оцінки загальної ефективності функціонування аквапонної системи визначають рівень утилізації азотних сполук, ефективність очищення води, обсяг її повторного використання та продуктивність вирощування риби й рослин. Аналіз отриманих результатів дозволяє встановити взаємозв'язок між параметрами водного середовища, розвитком мікробних угруповань, ростом риб та продуктивністю рослин.

Таким чином, комплексний підхід до проведення досліджень в аквапонних системах забезпечує можливість всебічної оцінки біологічних

процесів, що відбуваються в замкненій екосистемі, та дозволяє оптимізувати технологічні параметри для підвищення ефективності виробництва рибної та рослинної продукції.

Аквапоніка є інтегрованою системою, що поєднує аквакультуру та гідропонне вирощування рослин. Її економічна ефективність визначається одночасним отриманням двох видів продукції риби та рослин, а також зменшенням витрат води, добрив і площі вирощування. За даними міжнародних досліджень, аквапонні системи характеризуються високою ресурсоефективністю, однак потребують значних початкових інвестицій у обладнання, системи фільтрації, насоси та автоматизацію (Рис. 2.4).

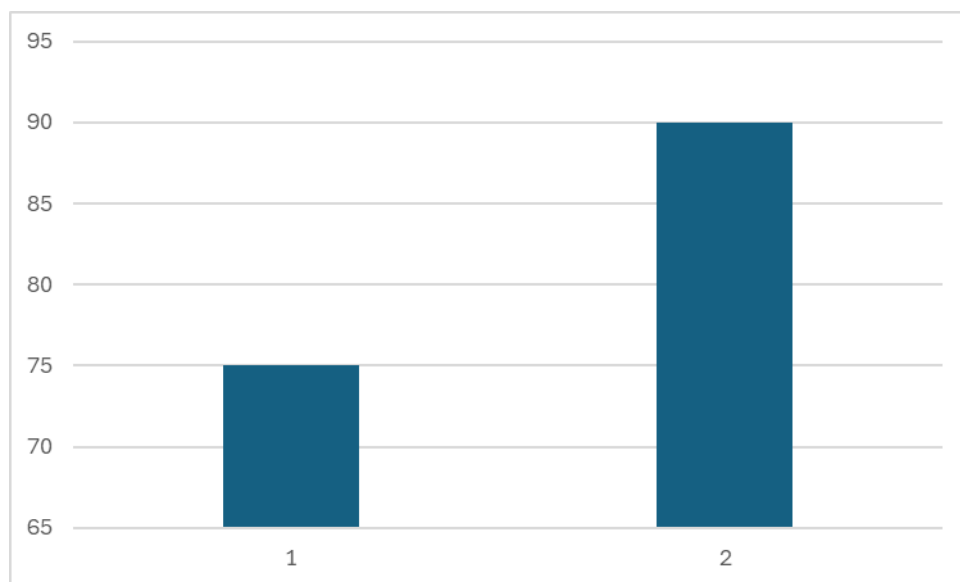


Рис. 2.4. Рівень виживання риб при ставовому господарстві та аквапоніці

Економічна ефективність аквапоніки значною мірою залежить від структури витрат, яка включає капітальні вкладення та поточні експлуатаційні витрати. На відміну від традиційної аквакультури або гідропоніки, в аквапонних системах витрати розподіляються між виробництвом рибної та рослинної продукції (Табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Структура витрат в аквапоніці

Стаття витрат	Частка у загальних витратах
Електроенергія	20–35 %
Корми для риб	25–40 %
Обладнання та амортизація	15–30 %
Оплата праці	10–25 %
Насіннєвий матеріал	3–10 %

У структурі собівартості найбільшу частку займають енергозатрати, вартість кормів для риб та сучасне обладнання. Дослідження комерційних систем вирощування тіляпії та салату показали, що прибутковість значною мірою залежить від вартості електроенергії та масштабу виробництва.

За результатами сучасних досліджень, салат, вирощений в аквапонних системах, часто характеризується швидшим ростом, інтенсивнішим розвитком кореневої системи та нижчим накопиченням нітратів порівняно з традиційним ґрунтовим вирощуванням. Водночас ґрунтові рослини можуть мати вищий вміст деяких антиоксидантів і сухої речовини.

Морфо-фізіологічні показники рослин на прикладі салату характеризують особливості його будови, росту та фізіологічних процесів, що визначають продуктивність рослин і їх адаптацію до умов вирощування, зокрема в аквапонних системах (Табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Біолого-екологічні показники рослин в аквапонній системі

Показник	Ґрунтове вирощування	Аквапоніка
Швидкість росту	Середня	Вища
Тривалість вегетації	35–50 діб	25–40 діб
Маса рослини	120–250 г	150–300 г
Розвиток кореневої системи	Помірний	Добре розвинений

Вміст води в тканинах	Нижчий	Вищий
Вміст сухої речовини	Вищий	Нижчий
Вміст хлорофілу	Середній	Вищий або стабільний
Вміст нітратів	Вищий	Нижчий
Споживання води	Значне	На 70–90% менше
Використання добрив	Необхідне	Частково замінюється продуктами життєдіяльності риб
Екологічність	Середня	Висока
Ризик ґрунтових хвороб	Вищий	Нижчий

До основних морфологічних показників рослин, які характеризують рівень якості аквапонної системи належать висота рослини, кількість листків, площа листкової поверхні, діаметр розетки, довжина та ширина листка, маса надземної частини, маса кореневої системи, довжина коренів, щільність та форма листкової розетки. Для салату характерна добре розвинена листкова поверхня, яка забезпечує інтенсивний фотосинтез та швидке накопичення біомаси. У системах аквапоніки часто спостерігається активний розвиток кореневої системи через постійний доступ до води та поживних речовин [7, 12, 24].

Крім морфологічних особливостей при аквапонному вирощуванні також враховують фізіологічні показники рослини. Основними фізіологічними характеристиками являються інтенсивність фотосинтезу, вміст хлорофілу в листках, швидкість росту рослин, рівень транспіраційних процесів, водоутримувальна здатність тканин, вміст сухої речовини, накопичення нітратів та біогенних сполук, вміст аскорбінової кислоти та активність ферментних систем, рівень поглинання рослиною макро- та мікроелементів. Наприклад, у рослин салату, який вирощений в аквапонних системах, часто відзначають підвищений вміст води у тканинах, інтенсивний синтез хлорофілу, помірне накопичення нітратів та високу швидкість формування листкової маси.

Для оцінки рівня продуктивності сільськогосподарських рослин та ефективності їх вирощування використовують урожайність, середню масу однієї рослини, товарність продукції, тривалість вегетаційного періоду та коефіцієнт приросту біомаси.

Дослідження морфо-фізіологічних характеристик салату дозволяють оцінити вплив умов вирощування, визначити ефективність роботи аквапонної системи, встановити оптимальні параметри живлення, контролювати якість продукції та прогнозувати врожайність культури.

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

У дослідженні із використанням рециркуляційної аквапонної системи виживаність коропа досягала 97,8 %, а абсолютний приріст маси становив 8,09 г за 60 діб при оптимальній роботі біофільтра.

Під час експерименту з вирощування коропа та овочевих культур в аквапоніці кормовий коефіцієнт становив 1,86, тоді як у контрольній системі без рослин - 2,22, що свідчить про ефективніше використання корму в інтегрований системі.

Дослідження спільного вирощування коропа та м'яти показало, що за оптимального гідравлічного навантаження спостерігалися найкращі показники росту та виживаності риби, а також стабільна якість води (Табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Порівняльна характеристика вирощування риби при ставовому
рибництві та в умовах аквапоніки

Показник	Аквапоніка	Ставе господарство
Вживаність	90–98 %	75–95
Кормовий коефіцієнт (FCR)	1,2–1,9	2,0–4,1
Середньодобовий приріст	1,5–4,0 г/добу	2,0–4,3
Специфічна швидкість росту (SGR)	1,5–2,8 %/добу	Обмежений
Кінцева маса молоді за цикл	80–250 г	1–5 кг/м ³
Щільність посадки	15–40 кг/м ³	1–5 кг/м ³
Вміст розчиненого кисню	5–8 мг/л	4-7
pH води	6,8–7,5	6,8-7,5
Температура	22–28 °C	22-28

Аналіз наведених даних свідчить, що вирощування коропа в аквапонних системах характеризується високою ефективністю та стабільністю виробничих показників. Виживаність риби в умовах аквапоніки становить 90–98 %, що перевищує аналогічні показники традиційних ставових господарств, де вона коливається в межах 75–95 %. Це пояснюється постійним контролем якості води, оптимальним температурним режимом та зменшенням впливу несприятливих факторів зовнішнього середовища (Рис. 3.1).

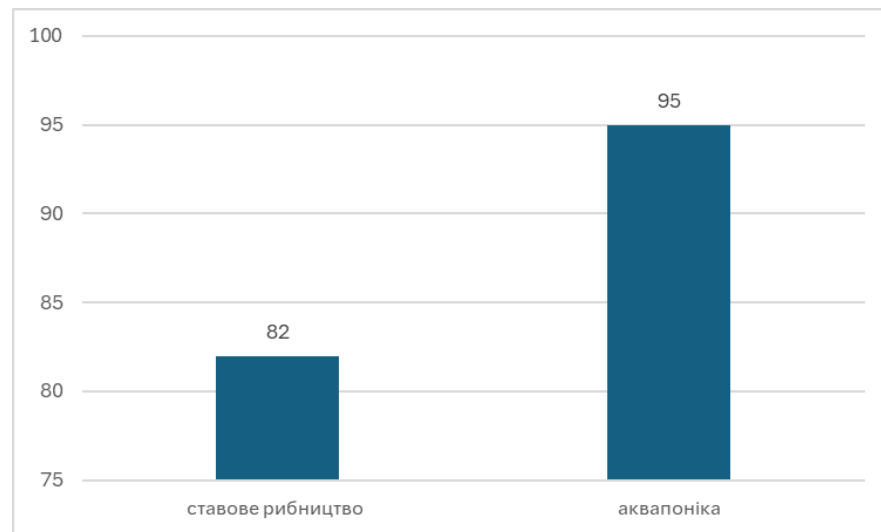


Рис. 3.1. Виживаність коропа при ставовому рибництві та аквапоніці

Використання корму є більш раціональним в аквапонній системі (Рис. 3.2)

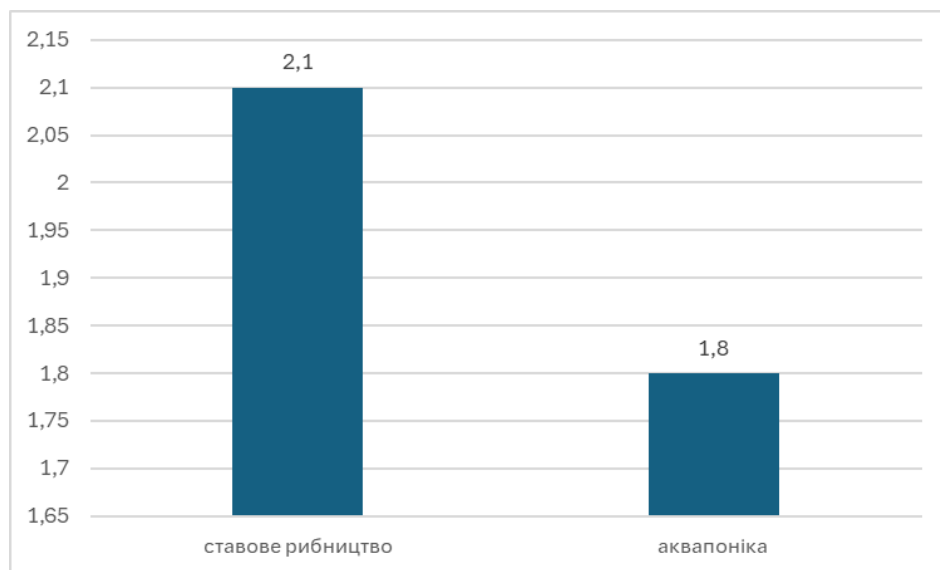


Рис. 3.2. Рівень вживання корму при ставовому рибництві та аквапоніці

Кормовий коефіцієнт в аквапонних системах перебуває в межах 1,2–1,9, що свідчить про більш ефективне використання кормів порівняно зі ставовим вирощуванням, де на отримання 1 кг приросту маси риби витрачається від 2,0 до 4,1 кг корму. Це пов'язано зі стабільними умовами утримання та частковим використанням природної кормової бази, яка формується в системі завдяки розвитку мікроорганізмів.

Середньодобовий приріст коропа в аквапоніці становив 1,5–4,0 г, що є порівнянним із показниками ставового рибництва. При цьому швидкість росту значною мірою залежить від температури води, щільності посадки та якості годівлі. Специфічна швидкість росту досягає 1,5–2,8 % на добу, що свідчить про сприятливі умови для розвитку риби (Рис. 3.3).

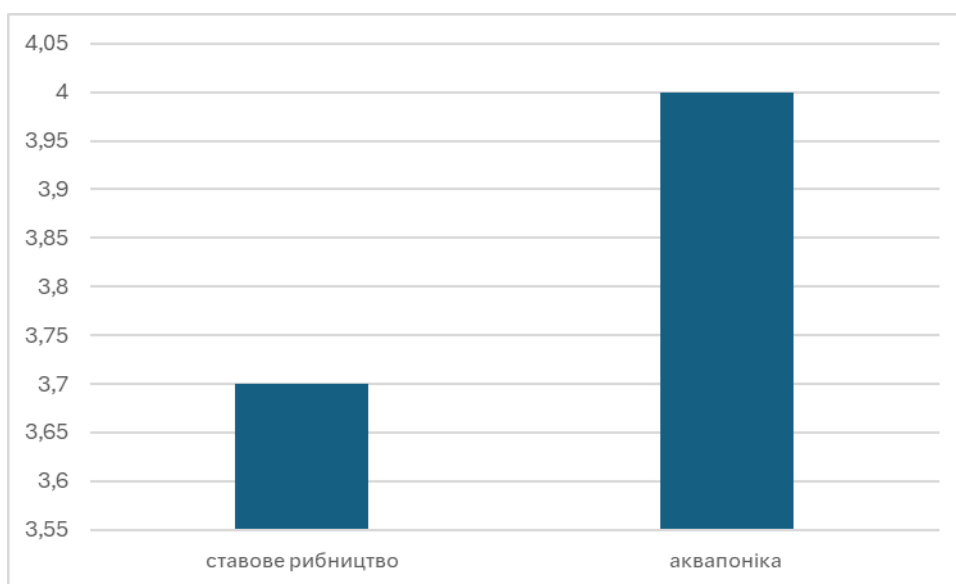


Рис. 3.3. Середньодобовий приріст коропа при ставовому рибництві та аквапоніці

Важливою особливістю аквапоніки є можливість утримання риби за значно вищої щільності посадки від 15 до 40 кг/м³, тоді як у ставових господарствах цей показник зазвичай не перевищує 1–5 кг/м³. Незважаючи на високу концентрацію гідробіонтів, система забезпечує належну якість води завдяки роботі біофільтрів та використанню рослин, які поглинають продукти азотного обміну.

Ще однією перевагою аквапонних систем є раціональне використання водних ресурсів. Завдяки постійній рециркуляції споживання води скорочується на 80–95 % порівняно з традиційними методами вирощування. Водночас рибопродуктивність системи може досягати 20–60 кг риби на 1 м³ води за цикл вирощування, що значно перевищує показники більшості ставових господарств.

Отже, результати порівняння свідчать, що аквапонні системи створюють сприятливі умови для вирощування коропа, забезпечуючи високу виживаність, ефективне використання кормів, економію водних ресурсів та значну продуктивність, що робить цю технологію перспективним напрямом розвитку сучасної аквакультури.

Економічні показники аквапонних систем за результатами досліджень характеризуються високими економічними показниками в масштабних фермерських господарствах. Термін окупності аквапонних комплексів зазвичай становить 5–8 років, серед рослин найбільш прибутковими культурами є салат, базилік, м'ята та інша зелень. У міжнародному опитуванні комерційних аквапонних господарств встановлено, що близько 31 % підприємств були прибутковими протягом року, тоді як інші перебували на етапі розвитку або модернізації.

Порівняння економічних показників аквапоніки та традиційного вирощування вказує на економію води, мінімальне використання добрив, вищий рівень врожайності. При цьому початкові інвестиції в аквапоніці та використання електроенергії значно вищі, але це компенсується цілорічним виробництвом, високою врожайністю та високою екологічністю в цілому.

Аквапоніка є перспективною ресурсощадною технологією виробництва харчової продукції, що забезпечує поєднання рибництва та рослинництва в єдиній замкненій системі. Незважаючи на значні початкові інвестиції та енергетичні витрати, комерційні аквапонні комплекси можуть бути економічно ефективними завдяки високій продуктивності, економії водних ресурсів та отриманню екологічно безпечної продукції.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Сучасний розвиток сільського господарства та аквакультури супроводжується значним антропогенним навантаженням на природні екосистеми. Інтенсивне використання водних ресурсів, застосування мінеральних добрив і засобів захисту рослин, а також скидання забруднених стічних вод призводять до погіршення екологічного стану навколишнього середовища. У зв'язку з цим особливої актуальності набувають технології, спрямовані на зменшення негативного впливу виробництва на природні ресурси.

Однією з таких технологій є аквапоніка, яка поєднує вирощування риб та рослин у замкненій системі рециркуляції води. Основним принципом функціонування аквапонної системи є повторне використання води та поживних речовин, що забезпечує мінімальний вплив на навколишнє середовище.

Однією з головних екологічних переваг аквапоніки є значне скорочення споживання води. У традиційному землеробстві значна частина води втрачається внаслідок випаровування, інфільтрації та поверхневого стоку. В аквапонних системах вода постійно циркулює між рибними резервуарами, біофільтрами та рослинними модулями, що дозволяє повторно використовувати до 95 % її загального обсягу.

Поповнення системи здійснюється лише для компенсації втрат, пов'язаних із випаровуванням, транспірацією рослин та проведенням технологічних операцій. Такий підхід сприяє збереженню водних ресурсів та є особливо важливим в умовах зміни клімату та зростання дефіциту прісної води.

У традиційних рибницьких господарствах продукти життєдіяльності риб можуть накопичуватися у водоймах або потрапляти до природних водних об'єктів разом зі стічними водами. Це призводить до надходження значної кількості органічних речовин та сполук азоту і фосфору, які можуть викликати евтрофікацію водойм.

В аквапонних системах органічні відходи риб використовуються як джерело поживних речовин для рослин. Завдяки діяльності нітрифікуючих бактерій амонійний азот послідовно перетворюється на нітрати, які активно поглинаються рослинами. У результаті значно зменшується кількість забруднюючих речовин у воді та практично відсутня необхідність у скиданні стічних вод у навколишнє середовище.

Використання аквапонних технологій сприяє збереженню природних екосистем шляхом зменшення навантаження на природні водойми. Завдяки вирощуванню риби в контрольованих умовах скорочується потреба у вилові природних популяцій риб, що позитивно впливає на збереження біорізноманіття водних екосистем.

Важливою перевагою є також обмежене використання хімічних препаратів. Оскільки риби, рослини та мікроорганізми перебувають у єдиній біологічній системі, застосування токсичних речовин є небажаним. Це сприяє отриманню екологічно безпечної продукції та зменшує ризик накопичення шкідливих речовин у навколишньому середовищі.

Для забезпечення екологічної безпеки функціонування аквапонної системи необхідно дотримуватися комплексу природоохоронних заходів:

- здійснювати постійний контроль якості води;
- забезпечувати ефективну роботу систем біофільтрації;
- своєчасно видаляти та утилізувати органічні відходи;
- запобігати потраплянню забруднюючих речовин у систему;
- контролювати стан риб та рослин з метою попередження захворювань;
- використовувати енергоощадне обладнання для зменшення споживання енергоресурсів;
- здійснювати регулярний моніторинг екологічних показників виробництва.

Особливу увагу слід приділяти раціональному використанню електроенергії, оскільки системи рециркуляції води потребують безперервної роботи насосного та аераційного обладнання. Застосування сучасних

енергоефективних технологій дозволяє зменшити вуглецевий слід виробництва та підвищити його екологічну стійкість.

Аквапоніка є однією з найбільш екологічно орієнтованих технологій сучасного сільського господарства. Її використання дозволяє суттєво скоротити споживання водних ресурсів, мінімізувати утворення стічних вод, зменшити потребу в мінеральних добривах та забезпечити ефективне використання продуктів життєдіяльності риб. Впровадження аквапонних систем сприяє збереженню природних екосистем, підвищенню екологічної безпеки виробництва та реалізації принципів сталого розвитку в аквакультурі та рослинництві.

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

5.1. Загальні принципи організації безпеки життєдіяльності

Охорона праці є невід'ємною складовою організації виробничої діяльності в галузі аквакультури та аквапоніки. Основною метою охорони праці є створення безпечних і нешкідливих умов праці для працівників шляхом запобігання виробничому травматизму, професійним захворюванням та аварійним ситуаціям.

Діяльність аквапонного господарства пов'язана з використанням електричного обладнання, насосних станцій, систем аерації, резервуарів з водою, біофільтрів, а також проведенням технологічних операцій з обслуговування риби та рослин. Тому дотримання вимог охорони праці є необхідною умовою безпечного функціонування господарства.

Усі працівники повинні проходити вступний та первинний інструктажі з охорони праці, навчання безпечним методам роботи, а також періодичну перевірку знань відповідно до чинного законодавства України.

Під час експлуатації аквапонних систем на працівників можуть впливати різноманітні небезпечні та шкідливі виробничі фактори.

До основних небезпечних факторів в умовах фермерського господарства належать:

ураження електричним струмом під час роботи з насосами, компресорами та освітлювальним обладнанням;

ризик падіння на слизьких та вологих поверхнях;

можливість травмування під час обслуговування обладнання;

небезпека утоплення при роботі біля великих резервуарів з водою;

ризик виникнення пожежі внаслідок несправності електрообладнання.

До шкідливих виробничих факторів відносяться підвищена вологість повітря та коливання температурного режиму в теплицях, що є дуже зручними умовами для існування шкідливих родів бактерій, які можуть викликати захворювання дихальної системи людини. Шум від роботи насосів та

аераційного обладнання негативно впливають на стан слухового аналізатору людини. Контакт із мікроорганізмами, що містяться у воді та біофільтрах, фізичне навантаження під час перенесення кормів, обладнання та ємностей з водою все це також негативно впливає на стан здоров'я робітників.

5.2. Заходи щодо забезпечення безпечних умов праці

Для мінімізації ризиків виробничого травматизму необхідно впроваджувати комплекс організаційних та технічних заходів. Електрообладнання повинно відповідати вимогам електробезпеки та мати надійне заземлення. Всі електричні мережі необхідно обладнати автоматичними вимикачами та пристроями захисного відключення. Проведення ремонтних робіт допускається лише після повного відключення обладнання від електромережі.

Для запобігання падінням робочі проходи повинні утримуватися в чистоті та сухому стані. У місцях із підвищеною вологістю рекомендується використовувати протиковзкі покриття. Працівники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту: спеціальним одягом, гумовими чоботами, водонепроникними рукавичками, захисними окулярами, респіраторами, за необхідності проведення дезінфекційних робіт.

Під час виконання робіт забороняється використовувати несправне обладнання або працювати без засобів індивідуального захисту.

Значна кількість електротехнічного обладнання в аквапонних системах вимагає дотримання вимог пожежної безпеки. Причинами виникнення пожеж можуть бути короткі замикання, перевантаження електромереж, пошкодження ізоляції проводів та несправність електроприладів.

Для попередження пожеж необхідно регулярно перевіряти стан електропроводки, не допускати перевантаження мережі, використовувати сертифіковане електрообладнання, забезпечувати вільний доступ до аварійних вимикачів, обладнати приміщення первинними засобами пожежогасіння.

У виробничих приміщеннях повинні бути встановлені вогнегасники, пожежні щити та схеми евакуації персоналу. Працівники повинні знати порядок дій у разі виникнення пожежі та вміти користуватися засобами пожежогасіння.

Безпека життєдіяльності також передбачає комплекс заходів щодо захисту працівників у разі виникнення надзвичайних ситуацій природного, техногенного або воєнного характеру. Особливу увагу необхідно приділяти можливим аварійним ситуаціям, пов'язаним із припиненням електропостачання. У разі відключення електроенергії можуть припинитися робота насосів та подача кисню до рибних басейнів, що здатне призвести до масової загибелі гідробіонтів.

Для запобігання таким наслідкам рекомендується використовувати резервні джерела живлення, встановлювати аварійні генератори, застосовувати системи автоматичного контролю параметрів води, забезпечувати оперативне сповіщення персоналу про виникнення аварій.

У разі оголошення сигналу повітряної тривоги працівники повинні негайно припинити роботи та прямувати до найближчого укриття відповідно до затвердженого плану евакуації.

Для підтримання належних санітарно-гігієнічних умов необхідно регулярно проводити очищення виробничих приміщень, резервуарів та технологічного обладнання. Особливу увагу слід приділяти профілактиці розвитку патогенних мікроорганізмів у системах водопідготовки та біофільтрації.

Працівники повинні дотримуватися правил особистої гігієни, використовувати чистий спецодяг та проходити періодичні медичні огляди. Після контакту з водою, рибою або технологічними відходами необхідно ретельно мити руки та використовувати дезінфекційні засоби.

Безпечна експлуатація аквапонних систем можлива лише за умови дотримання вимог охорони праці, виробничої санітарії та пожежної безпеки. Основними небезпечними факторами є підвищена вологість, використання

електрообладнання, ризик механічних травм та аварійних ситуацій. Впровадження комплексу організаційних і технічних заходів дозволяє забезпечити належний рівень безпеки працівників, знизити ризик виробничого травматизму та створити сприятливі умови для ефективного функціонування аквапонного господарства.

ВИСНОВКИ

В результаті проведеної роботи встановлено, що:

1. Аквапонічне вирощування позитивно впливає на ріст і біохімічний склад коропа та рослин. Системи без ґрунту забезпечують стабільне надходження поживних речовин і води, що сприяє підвищенню фізіологічної активності організмів.

2. Ґрунтове середовище краще розвиває кореневу систему, однак може обмежувати продуктивність через коливання вологості та доступності елементів живлення. Аквапоніка є екологічно безпечним і ресурсоефективним методом вирощування зелених культур.

3. Вирощування риби шляхом аквапоніки робить процес економічно рентабельним, екологічно вигідним та зручним. Завдяки постійній рециркуляції споживання води скорочується на 80–95 % порівняно з традиційними методами вирощування. Водночас рибопродуктивність системи може досягати 20–60 кг риби на 1 м³ води за цикл вирощування.

4. Середньодобовий приріст коропа в аквапоніці становив 1,5–4,0 г, що є порівнянним із показниками ставового рибництва. При цьому швидкість росту значною мірою залежить від температури води, щільності посадки та якості годівлі. Специфічна швидкість росту досягає 1,5–2,8 % на добу, що свідчить про сприятливі умови для розвитку риби.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Беляєв В. І. Технології аквакультури в умовах природних водойм. Київ : Наукова думка, 2020.
2. Байдак Л.А., Губанова Н.Л. Застосування мікроводоростей як засіб оптимізації вирощування гідробіонтів // Міжнародної науково-практичної конференції до 100-річчя Дніпровського державного аграрно-економічного університету (1922–2022 рр.). – 2022. – С. 266-268
3. Грициняк І. Й., Швець Т. М. Полікультура в рибористві. Тематична бібліографія // Рибориствознавство України. 2020. № 2. С. 97—128.
URL : http://fsu.ua/images/jurnal/2020_02-v52/2020_02-097_128-Gritsinyak_ukr.pdf.
4. Економічні аспекти виробництва аквакультури в Україні [Електронний ресурс] / [В. І. Радько, Н. М. Присяжнюк, Ю. В. Федорук, А. В. Горчанок, О. Л. Гейко] // Ефективна економіка. 2024. № 3
5. Євтушенко М. Ю., Хижняк М. І., Дудник С. В., Глебова Ю. А. Вимоги національних та європейських стандартів до якості води водойм комплексного та рибориствознавського призначення, які використовуються для риборозведення. Київ : Фітосоціоцентр, 2011. 80 с.
6. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод України / Яцик А. В., Денисова О. І., Чернявська А. П., Верниченко Г. А.; Київ: Оріяни, 2004. 20 с.
7. Новіцький Р. О., Дворецький А. І., Христов О. О. Ретроспектива і сучасний розвиток рибориствознавства у Придніпровському регіоні // В кн.: Розвиток Придніпровського регіону: агроекологічний аспект. Монографія. Дніпро: ЛІРА, 2021. С. 80–125.
8. Присяжнюк Н. М., Горчанок А.В., Губанова Н.Л., Яковишин Я.В. Фінансові інструменти підтримки підприємництва в галузі

- аквакультури: міжнародний досвід та українські реалії. інноваційна економіка, вип. 3, вересень 2025, с. 114-21
9. Петренко С.В. Біологічні основи інтенсифікації вирощування коропа та білого амура в полікультурі: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 06.02.03 / Інститут рибного господарства НААН України. Київ, 2020. 24 с. URL: [Вставити URL на автореферат, якщо є в НБУВ] (дата звернення: 19.06.2025).
 10. Сидоренко К.Є., Чубченко Є.А., Губанова Н.Л. Якість води як основний фактор в аквакультурі. Актуальні проблеми підвищення якості та безпека виробництва й переробки продукції тваринництва: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (м. Дніпро, 20 жовтня 2022 р.): Дніпровський ДАЕУ. – Дніпро, 2022. – 185 с.
 11. Шейко В. М., Кушнарченко Н. М. Організація та методика науководослідницької діяльності. Київ: Знання-прес, 2002. 295 с.
 12. Anguchamy Veeruraj, Sumana Biswas, Arijit Mondal, Swagat Ghosh, Kannapiran Ethiraj, Evaluation of koi carp (*Cyprinus carpio*) growth and water quality dynamics in an aquaponic system using different media beds , Journal of Applied Aquaculture, 10.1080/10454438.2026.2663511, (1-19), (2026)
 13. Albadwawi M. A. Ahmed Z. F. Kurup S. S. Alyafei M. A. Jaleel A. (2022). A comparative evaluation of aquaponic and soil systems on yield and antioxidant levels in basil, an important food plant in Lamiaceae. *Agronomy* 12, 3007. doi: 10.3390/agronomy12123007
 14. Anand P. S. Kohli M. P. S. Roy S. D. Sundaray J. K. Kumar S. Sinha A. et al. (2013). Effect of dietary supplementation of periphyton on growth performance and digestive enzyme activities in *Penaeus monodon*. *Aquaculture* 392, 59–68. doi: 10.1016/j.aquaculture.2013.01.029
 15. Bai C. Qi X. Wang Z. Wang J. Qiu L. Li H. et al. (2024). Effect of density stress on the physiological, biochemical, and immunological parameters of

- juvenile *Pelteobagrus fulvidraco* during simulated transportation. *Aquac. Rep.* 34, 101911. doi: 10.1016/j.aqrep.2023.101911
16. Barreto M. O. Rey Planellas S. Yang Y. Phillips C. Descovich K. (2022). Emerging indicators of fish welfare in aquaculture. *Rev. Aquac.* 14, 343–361. doi: 10.1111/raq.12601
17. Baganz, G., Junge, R., Portella, M., Goddek, S., Keesman, K., Baganz, D., Staaks, G., Shaw, C., Lohrberg, F., Kloas, W. (2021). The aquaponic principle—It is all about coupling. *Reviews in aquaculture*, 14(1), 252–264. <https://doi.org/10.1111/raq.12596>
18. Chakraborty S. Ahmed S. Ghosh R. Biswas P. Zaman S. Mitra A. (2025). Eco-friendly nutrient management in fish ponds: the role of *Azolla* in nitrate and phosphate reduction. *Discov. Plants* 2, 1–12. doi: 10.1007/s44372-025-00213-4
- 19.3. Chubchenko, Y. A. (2025) Diversity of species of higher aquatic plants of Lake Somivka (Dniprovs'ko-Oril's'kyi Nature Reserve). *Ecology and Noospherology*, 36(1), 64–69 <https://doi:10.15421/032508>
20. Eide L. H. Morales-Lange B. Kuiper R. V. Dale O. B. Rocha S. D. Djordjevic B. et al. (2025). Fermented sunflower meal in diets for Atlantic salmon under commercial-like farming conditions promotes gut lactic acid bacteria and controls inflammation in the distal intestine. *Aquaculture* 595, 741517. doi: 10.1016/j.aquaculture.2024.741517
21. Flores-Iwasaki M. Guadalupe G. A. Pachas-Caycho M. Chapa-Gonza S. Mori-Zabarburú R. C. Guerrero-Abad J. C. (2025). Internet of Things (IoT) sensors for water quality monitoring in aquaculture systems: A Systematic review and bibliometric analysis. *AgriEngineering* 7, 78. doi: 10.3390/agriengineering7030078
22. Gayam K. K. Jain A. Singh R. Gehlot A. Akram S. V. (2024). Smart aquaponics with integration of AI and IoT for yield enhancement through real-time monitoring and decision support. *Int. J. Recent Innovation Trends Comput. Commun. (IJRITCC)* 11, 2039–2049. doi: 10.17762/ijritcc.v11i10.8887

23. Godoy-Olmos S., Jauralde I., Monge-Ortiz R., Milián-Sorribes M., C. Jover-Cerdá M., Tomás-Vidal A. et al. (2022). Influence of diet and feeding strategy on the performance of nitrifying trickling filter, oxygen consumption and ammonia excretion of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) raised in recirculating aquaculture systems. *Aquac. Int.* 30, 581–606. doi: 10.1007/s10499-021-00821-3
24. FINANCIAL INSTRUMENTS FOR SUPPORTING ENTREPRENEURSHIP IN THE AQUACULTURE SECTOR: INTERNATIONAL EXPERIENCE AND UKRAINIAN REALITIES”. *INNOVATIVE ECONOMY*, no. 3, Sept. 2025, pp. 114-21, <https://doi.org/10.37332/>
25. Hanif I., M. Effendi I., Budiardi T., Diatin I. (2021). The recirculated aquaculture system (RAS) development with nanobubble application to improve growth performance of grouper fish fry culture. *J. Akuakultur Indonesia* 20, 181–190. doi: 10.19027/jai.20.2.181-190
26. Hayashida T., Soma S., Nakamura Y., Higuchi K., Kazeto Y., Gen K. (2023). Transcriptome characterization of gonadal sex differentiation in Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis* (Temminck et Schlegel). *Sci. Rep.* 13, 13867. doi: 10.1038/s41598-023-40914-y
27. Hubanova, N. L. (2019). Production of zoobenthos in various areas of the Dnipro (Zaporizhzhia) reservoir. *Agrology*, 2(3), 156–160. doi: 10.32819/019023
28. Hubanova, N. L., Novitskiy, R. O., Horchanok, A. V., Bajdak, L. A., & Prysiazhniuk, N. M. (2021). Analysis of the death causes in sturgeon fish on a farming environment. *Theoretical and Applied Veterinary Medicine*, 9(3), 160–164. doi: 10.32819/2021.93024
29. Jais N. A. M., Abdullah A. F., Kassim M. S. M., Abd Karim M. M., Muhadi N. A. (2024). Improved accuracy in IoT-Based water quality monitoring for aquaculture tanks using low-cost sensors: Asian seabass fish farming. *Heliyon* 10, e29022.

30. Kunakh, O. M., Bondarev, D. L., Gubanova, N. L., Domnich, A. V., & Zhukov, O. V. (2022) Multiscale oscillations of the annual course of temperature affect the spawning events of rudd (*Scardinius erythrophthalmus*) // *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 13(2), 180-188 <https://doi.org/10.15421/022223>
31. Joffre O. Klerkx L. Khoa T. N. (2018). Aquaculture innovation system analysis of transition to sustainable intensification in shrimp farming. *Agron. Sustain. Dev.* 38, 34. doi: 10.1007/s13593-018-0511-9
32. Novitskyi, R. O., Khristov, O. O., Hubanova, N. L., Horchanok, A. V., Prysiashniuk, N. M., & Porotikova, I. I. (2020). Zooplankton products on certain sections of the «Dnipro-Donbas» canal. *Theoretical and Applied Veterinary Medicine*, 8(2), 96-100. doi: 10.32819/2020.82013 <https://bulletinbiosafety.com/index.php/journal/article/view/269/27>
33. Novitskyi, R. O., Makhonina, A. V., Kochet, V. M., Khristov, O. O., Hubanova, N. L., & Horchanok, A. V. (2019). Causes of death of silver carp *Hipophthalmichthys molitrix* in the “Dnipro-Donbas” magistral channel and prevention measures. *Theoretical and Applied Veterinary Medicine*, 7(2), 102–106. doi: 10.32819/2019.71018
34. Sapronova V. O., Hubanova N. L., Matviienko N. M. Accumulation of natural and artificial radionuclides in water and hydrobionts of fishing ponds of Dnipropetrovsk region / Sapronova V. O. et al// *Theoretical and Applied Veterinary Medicine*. 2024. 12(1). 25–30. <http://doi:10.32819/2024.12004>
35. Sharylo, Yu. Ye., Vdovenko, N. M., Poplavska, O. S., Dmytryshyn, R. A., Tomilin, O. O., Herasymchuk, V. V. (2022). Formuvannya propozyitsiy na rybu ta inshi vodni bioresursy v retsyrkulyatsiynykh akvakul'turnykh systemakh u konteksti staloho rozvytku sil's'kykh terytoriy. *Posibnyk*. K.: 96. URL: https://darg.gov.ua/_formuvannja_propoziciji_na_0_0_0_12159_1.htm l [in Ukrainian]
36. Yesipova N. B., Sharamok T. S. (2022). Adaptatyvni zminy v klitynakh krovei ryb v umovakh khronichnoi intoksykatsii [Adaptive changes

in fish blood cells under conditions of chronic intoxication]. Sumy National Agrarian University, 58–65 (in Ukrainian).

37. Zhukov, O., Kunakh, O., Bondarev, D., Chubchenko, Y. (2022). Extraction of macrophyte community spatial variation allows to adapt the Macrophyte Biological Index for Rivers to the conditions of the middle Dnipro River. *Limnologica*, (97) 126036 DOI: 10.1016/j.limno.2022.126036