

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування
Кафедра агрохімії, ґрунтознавства та землеробства
ім. С. Т. Вознюка

05-01-341М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни
«Технології закритого ґрунту»
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського)
рівня за освітньо-науковою програмою «Агрохімія і
ґрунтознавство» спеціальності 201 «Агрономія»
галузі знань 20 «Аграрні науки та продовольство»
денної форми навчання з елементами дуальної освіти

Рекомендовано науково-
методичною радою з якості
ННІАЗ
Протокол № 16 від 08.04.2025 р.

Рівне – 2025

Методичні вказівки до виконання практичних робіт та самостійної роботи з навчальної дисципліни «Технології закритого ґрунту» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-науковою програмою «Агрохімія і ґрунтознавство» спеціальності 201 «Агрономія» галузі знань 20 «Аграрні науки та продовольство» денної форми навчання з елементами дуальної освіти [Електронне видання] / Колесник Т. М., Майборода Х. А. – Рівне : НУВГП, 2025. – 51 с.

Укладачі: Колесник Т. М., кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри агрохімії, ґрунтознавства та землеробства ім. С.Т. Вознюка; Майборода Х. А., асистент кафедри агрохімії, ґрунтознавства та землеробства ім. С. Т. Вознюка.

Відповідальна за випуск: Колесник Т. М., кандидат сільськогосподарських наук, доцент, завідувач кафедри агрохімії, ґрунтознавства та землеробства ім. С.Т. Вознюка.

Керівник групи забезпечення

Колесник Т. М.

© Т. М. Колесник,
Х. А Майборода, 2025
© НУВГП, 2025

ЗМІСТ

Вступ	4
Практична робота №1. Водна культура рослин: аналіз переваг та недоліків різних систем	7
Практична робота №2. Вирощування салату листового (<i>Lactuca sativa</i>) методом гідропоніки та аквапоніки	23
Практична робота №3. Роль риб у аквапонічних системах: Вплив на живлення рослин та стабільність екосистеми	31
Практична робота №4. Збалансування мінерального живлення в аквапонічних системах	38
Практична робота №5. Вплив різних типів органічних відходів риб на засвоєння макро- та мікроелементів рослинами в аквапонічній системі	42
Рекомендована література	49

ВСТУП

Технології закритого ґрунту являють собою комплекс інноваційних методів вирощування сільськогосподарських культур в умовах контролю над усіма аспектами їхнього розвитку. Ці технології включають гідропоніку, аквапоніку, аквакультуру та інші методи, що передбачають використання замкнутих екосистем, де регулюються параметри навколишнього середовища, такі як температура, вологість, освітленість і поживні елементи.

Метою вивчення дисципліни «Технології закритого ґрунту» є набуття студентами знань і практичних навичок для застосування сучасних методів вирощування сільськогосподарських культур і водних організмів у замкнутих екосистемах. Це дозволить забезпечити сталий розвиток агрономії та аквакультури, зменшити залежність від традиційних методів сільського господарства та оптимізувати використання природних ресурсів.

Завдання дисципліни:

1. вивчення теоретичних основ технологій закритого ґрунту. Оцінка принципів роботи гідропонічних, аквапонічних та аквакультурних систем, а також їх інтеграції в рамках замкнутих екосистем, що забезпечують ефективне використання водних та земельних ресурсів;
2. дослідження взаємозв'язку між рослинами і водними культурами. Аналіз ефективності використання води та поживних елементів у таких системах, а також вплив водних організмів (риба, водорості) на стан води і рост рослин;
3. застосування гідропоніки та аквапоніки для вирощування рослин. Розгляд ефективних методів безґрунтового вирощування культур та інтеграції з аквакультурними процесами, що дозволяє забезпечити сталий обіг поживних речовин та води в системах;

4. аналіз екологічної та економічної ефективності закритих систем. Вивчення зниження споживання природних ресурсів та впливу на довкілля, порівняння економічної ефективності різних технологій закритого ґрунту з традиційними методами сільськогосподарського виробництва;
5. інноваційні підходи та технічні рішення в технологіях закритого ґрунту. Ознайомлення з новітніми розробками в галузі автоматизації, моніторингу та контролю параметрів в агрономії та аквакультурі, що дозволяє підвищити ефективність і зменшити витрати на ресурси.

Після завершення вивчення дисципліни студенти повинні *знати*

- основи технологій закритого ґрунту. Принципи функціонування гідропонічних, аквапонічних та аквакультурних систем, а також особливості їх інтеграції для ефективного використання природних ресурсів;
- технічні та біологічні процеси в замкнугих екосистемах. Знання про взаємодію між рослинами, водними культурами та іншими компонентами таких систем, таких як риби та мікроорганізми, що забезпечують стійкість і продуктивність;
- екологічні та економічні аспекти технологій закритого ґрунту. Переваги використання закритих систем у контексті збереження водних ресурсів, зменшення енергоспоживання, а також економічні переваги та обмеження цих технологій.

Вміти:

- проектувати та оптимізувати закриті системи. Студенти повинні вміти проектувати гідропонічні та аквапонічні системи з урахуванням специфіки вирощування різних культур і умов аквакультури, а також оптимізувати їх для максимального використання ресурсів;
- оцінювати ефективність технологій. Вміння проводити аналіз ефективності впровадження технологій закритого

ґрунту в різних умовах, визначати їх екологічну та економічну доцільність;

- управляти параметрами в закритих екосистемах. Студенти повинні вміти налаштовувати і контролювати основні параметри систем (температура, вологість, освітленість, рівень поживних речовин) для забезпечення оптимальних умов для росту рослин та риби.

Практична робота № 1

Тема: Водна культура рослин: аналіз переваг та недоліків різних систем

Мета: Ознайомлення з основними системами водної культури рослин, аналіз їхніх переваг та недоліків, оцінка ефективності використання в умовах лабораторних досліджень та промислового вирощування.

Завдання:

1. На основі переглянутих відеофільмів дати письмові відповіді на контрольні питання (питання – відповідь)
2. Заповнити порівняльну таблицю аналізу систем водної культури рослин
3. Зробити висновки (вибрати) про найбільшу доцільність впровадження 2-х систем водної культури в Україні для покриття потреб міста-мільйонника та міста із населенням до 300 тис. осіб та Південній Азії (ОАЕ) – (підібрати види рослин та технологію їхнього вирощування).

Водна культура рослин, є методом вирощування рослин без ґрунту, де всі необхідні поживні речовини подаються у вигляді водного розчину. Такий спосіб вирощування має ряд переваг, зокрема ефективне використання води, контроль поживних речовин та можливість вирощування у будь-яких кліматичних умовах. Однак існують також певні недоліки, що обмежують широке застосування цього методу.

Основні системи водної культури

1. Гідропоніка - це метод вирощування рослин без ґрунту, при якому всі необхідні поживні речовини подаються через водний розчин. Ця система дозволяє контролювати

кількість і якість поживних речовин, що сприяє швидкому росту рослин та підвищенню врожайності.

Гідропоніка включає кілька різновидів, що відрізняються за способом подачі поживного розчину до кореневої системи:

- **Система живильного шару (NFT — Nutrient Film Technique)** Постійний тонкий шар поживного розчину циркулює по каналах, у яких знаходяться корені рослин.

Переваги:

- Економне використання води та поживних речовин
- Хороша аерація коренів
- Простота конструкції

Недоліки:

- Залежність від електропостачання
- Ризик пересихання коренів при відключенні системи
- Підходить переважно для листових культур

Рекомендовані культури: Листовий салат, базилік, шпинат

- **Глибоководна культура (DWC — Deep Water Culture)**

Принцип роботи: Корені рослин занурені у ємність з поживним розчином, який насичується киснем за допомогою компресора.

Переваги:

- Простота в налаштуванні
- Постійний доступ до поживних речовин
- Високий рівень аерації

Недоліки:

- Велика кількість води у системі
- Складність підтримання температурного режиму
- Обмеження щодо типів культур

Рекомендовані культури: Листовий салат, капуста, шпинат

- **Краплинна система**

Принцип роботи: Поживний розчин подається через крапельниці безпосередньо до кореневої системи.

Переваги:

- Економне використання води
- Регульована подача поживних речовин
- Підходить для різних типів культур

Недоліки:

- Засмічення трубок
- Необхідність регулярного обслуговування
- Висока вартість обладнання

Рекомендовані культури: Томати, огірки, перець
- **Фогпоніка (Fogponics)**

Принцип роботи: Корені рослин знаходяться у камері, де вони зрошуються туманом з поживним розчином.

Переваги:

- Високий рівень аерації
- Економія води
- Швидкий ріст рослин

Недоліки:

- Висока вартість обладнання
- Необхідність регулярного обслуговування
- Вразливість до відключення електроенергії

Рекомендовані культури: Листова зелень, суниця

Оптимальна температура пророщування насіння салату становить 18-22°C. Освітлення при пророщуванні насіння салату не є обов'язковим, оскільки насіння проростає в темряві. Після появи сходів освітлення стає необхідним для нормального розвитку.

Оптимальна температура води для вирощування салату на гідропоніці становить 18-22°C. Вища температура може викликати дефіцит кисню у воді, що негативно впливає на ріст коренів.

Перші 20 днів: Корені отримують воду через капілярне зволоження або постійний контакт з розчином у системах DWC або NFT.

Від 20 до 35 дня розвитку: Корені активно поглинають воду з поживного розчину, який циркулює по системі, забезпечуючи постійний доступ до поживних речовин.

Мінімальна довжина коренів салату для висаджування у систему малооб'ємної проточної гідропоніки становить 1,5-2 см, що дозволяє кореням ефективно контактувати з поживним розчином та отримувати необхідні речовини. Субстрати в гідропоніці використовуються для підтримки кореневої системи рослин, збереження вологи та повітря. Найпопулярніші види:

1. **Мінеральна вата (Rockwool)** – Найпоширеніший субстрат, добре утримує вологу та повітря.
2. **Керамзит (гравій)** – Легкий, екологічний, відмінно аерує коріння.
3. **Кокосове волокно** – Натуральний матеріал, має гарний баланс повітря та вологи.
4. **Перліт та вермікуліт** – Легкий матеріал, що покращує аерацію та вологість.

Щодо смаку, у гідропоніці смак рослин може бути навіть кращим, ніж при традиційному вирощуванні, але він залежить від кількох важливих факторів:

✓ **Основні фактори, що впливають на смак:**

1. **Склад поживного розчину** – Баланс макро- та мікроелементів (азот, фосфор, калій, кальцій, магній та інші) напряму впливає на смак. Наприклад, надлишок азоту може зробити зелень менш ароматною, а калій – солодшою.

2. **pH розчину** – Оптимальний рівень pH (5,5–6,5) забезпечує краще засвоєння поживних речовин, що покращує смак.
3. **Освітлення** – Якість, тривалість та спектр світла сильно впливають на смакові якості рослин. Наприклад, червоний і синій спектр стимулюють вироблення цукрів.
4. **Температура води та повітря** – Оптимальна температура для більшості культур — 18–24°C. Вища температура може погіршити смак або навіть викликати гіркоту.
5. **Аерація коренів** – Нестача кисню у воді може зробити смак рослин менш насиченим.
6. **Густота посадки** – Якщо рослини занадто щільно ростуть, вони можуть конкурувати за ресурси, що впливає на смак.
7. **Сортування поживних речовин на етапах росту** – Наприклад, перед збором урожаю можна зменшити кількість азоту в розчині та додати калій, що зробить плоди солодшими.

🍷 Порада:

За кілька днів до збору врожаю промийте коріння чистою водою (без добрив). Це допоможе вивести зайві солі та зробить смак чистішим.

2. Аквапоніка - це інноваційний метод вирощування рослин, який поєднує аквакультуру (вирощування риби) та гідропоніку (вирощування рослин без ґрунту). Це екологічна система (рис.1), де риба і рослини взаємодіють у замкнутому циклі.

Як працює аквапоніка?

1. **Риба вирощується в резервуарах з водою.**
2. В процесі життєдіяльності риби виділяють аміак у воду.

3. Спеціальні бактерії перетворюють аміак на нітрати – основне добриво для рослин.
4. **Рослини засвоюють нітрати** з води, очищаючи її.
5. Очищена вода повертається назад до резервуару з рибою.

✓ **Переваги аквапоніки:**

- **Екологічність** – Мінімальне споживання води (до 90% менше, ніж у ґрунтовому вирощуванні).
- **Без хімічних добрив** – Ніяких штучних добрив, лише натуральні поживні речовини.
- **Швидкий ріст рослин** – Рослини отримують поживні речовини безпосередньо з води.
- **Подвійний прибуток** – Урожай рослин + продаж риби.
- **Автоматизація** – Можна легко налаштувати автоматичні системи.

✗ **Недоліки:**

- Висока початкова вартість обладнання.
- Необхідний ретельний контроль параметрів води (рН, температура, рівень кисню).
- Чутливість системи до збоїв (наприклад, якщо помпа зламається – може загинути і риба, і рослини).
- Потрібні базові знання в аквакультурі та гідропоніці.

✿ **Які рослини краще вирощувати?**

Аквапоніка підходить для:

- **Листова зелень:** салат, шпинат, базилік, кінза.
- **Овочі:** огірки, помідори черрі, перець.
- **Трави:** м'ята, кріп, орегано.
- **Полуниця** – популярна культура в аквапоніці.

🐟 **Які риби підходять для аквапоніки?**

Вибір риби залежить від температури води та умов догляду:

Таблиця 1

Характеристики видів риб, що використовуються в
аквапонічних системах

Вид риби	Температура	Особливості
Тілапія	22-30°C	Невибаглива, швидко росте
Короп	10-28°C	Морозостійка, популярна в Європі
Форель	10-18°C	Потребує холодної води, чистого середовища
Сом	22-28°C	Швидкий ріст, добре адаптується
Золоті рибки	10-24°C	Декоративні, підходять для малих систем



Рис.1. Система аквапоніки

В аквапонічних системах витрати води на виробництво 1 кг риби залежать від багатьох факторів, зокрема від розміру та типу системи, виду риби та умов навколишнього середовища. Загалом, для вирощування 1 кг риби в аквапоніці можуть бути витрачені від 1000 до 2500 літрів

води, що значно менше, ніж в традиційному рибному господарстві. Це пов'язано з тим, що вода в аквапоніці постійно циркулює, забезпечуючи рибу необхідною кількістю кисню та поживних речовин, а також підтримуючи якість води завдяки біофільтрації та фільтрації через рослини.

Окрім риб, у системах аквапоніки можна вирощувати різноманітних гідробіонтів. Наприклад, популярні види — це молюски, креветки та різні види водоростей, які не лише доповнюють екосистему, а й допомагають очищати воду. Важливо, щоб ці організми добре співіснували з іншими компонентами аквапоніки, забезпечуючи баланс в системі.

У системах аквапоніки подача води є важливим аспектом для забезпечення стабільності екосистеми. Вода подається до рослин через канали або труби, де вона збагачується поживними речовинами від рибних відходів, після чого циркулює через корені рослин, де вони поглинають ці елементи. В результаті вода очищається та повертається до резервуара для риб. Такий процес створює замкнутий цикл, що забезпечує стабільний ріст як рослин, так і риб.

Біофільтри в системах аквапоніки виконують дуже важливу роль у підтримці екологічного балансу. Вони допомагають перетворювати аміак та інші токсичні речовини, що утворюються внаслідок життєдіяльності риб, у менш шкідливі сполуки, які можуть бути поглинені рослинами. Це не лише очищає воду, але й підтримує її стабільність для здоров'я обох компонентів системи.

Аератори води також є необхідними для підтримки рівня кисню у воді. Риби та інші організми потребують кисень для дихання, і аератори забезпечують його рівномірний розподіл у воді, що допомагає уникнути її закислення та підтримує здоров'я риб та інших біобітів.

Відстійники в системі аквапоніки використовуються для осадження важких часток, таких як мул та залишки корму,

які можуть забруднювати воду. Ці частки осідають на дно відстійника, де їх можна регулярно очищати, щоб запобігти забрудненню основного потоку води. Це важливий етап у підтримці високої якості води та здоров'я екосистеми.

Наповнювачі в біофільтрах модуля очистки води забезпечують додаткову поверхню для росту корисних бактерій, які сприяють біологічному очищенню води. Вони допомагають ефективно переробляти органічні відходи, створюючи сприятливі умови для розвитку корисних мікроорганізмів, що є важливим для підтримки стабільного балансу в системі аквапоніки.

Таким чином, всі ці елементи — від подачі води до біофільтрів, аераторів, відстійників та наповнювачів — взаємодіють між собою, забезпечуючи ефективне функціонування аквапонічної системи та дозволяючи отримувати здорові врожаї та рибу в замкнутому циклі.

3. Аеропоніка - це метод вирощування рослин, в якому корені залишаються в повітрі, а не в ґрунті чи в субстратах, таких як гідропоніка. Рослини отримують поживні речовини через мікродози водяного туману, який розпилюється навколо коренів.

Переваги аеропоніки:

1. **Економія води:** Завдяки точному контролю за розпиленням води, аеропоніка споживає менше води, ніж традиційне землеробство чи гідропоніка.
2. **Швидкий ріст рослин:** Оскільки корені рослин отримують більше кисню в порівнянні з іншими методами, це стимулює їх швидший ріст.
3. **Без використання ґрунту:** Це дозволяє вирощувати рослини в умовах, де ґрунт не придатний або є відсутнім.

4. **Менше проблем з хворобами коренів:** Оскільки корені не знаходяться в ґрунті, це знижує ризик розвитку кореневих хвороб, таких як гниль.

Недоліки аеропоніки:

1. **Висока вартість обладнання:** Спеціалізовані системи для аеропоніки можуть бути дорогими, зокрема для розпилювачів та насосів.
2. **Складність в управлінні вологою:** Вимагається точний контроль вологості для уникнення пересихання коренів або їх занадто вологого стану.
3. **Потреба у технічному обслуговуванні:** Необхідність регулярного обслуговування розпилювачів і насосів для підтримки їх у робочому стані.
4. **Уразливість до відключення електроенергії:** Якщо система розпилення води не працює через відсутність електрики, рослини можуть загинути через недостаток води.

У системах аеропоніки корені рослин занурені в повітря, і вони отримують воду та поживні речовини через мікродози водяного туману або аерозолі. Цей туман містить необхідні поживні речовини, розчинені у воді, що подаються безпосередньо до кореневої системи рослин. Туманеобформування дає кореням можливість поглинати воду та поживні речовини дуже швидко, забезпечуючи їх ефективно і швидко зростання.

Основні засоби для розпилення води в аеропоніці:

1. **Місткі ультразвукові розпилювачі:** Ці пристрої генерують мікроскопічні краплі води, які ідеально підходять для формування водяного туману.
2. **Високоточні форсунки:** Вони розпилюють воду під високим тиском, утворюючи дрібні краплі, які зволожують корені рослин.

3. **Центрифужні розпилювачі:** Ці пристрої створюють аерозоль, використовуючи швидке обертання, що дозволяє рівномірно розподіляти воду навколо коренів.

Є технологічна компанія Cyber Ponіс яка спеціалізується на створенні інноваційних рішень для вертикальних фермерських систем, зокрема для аеропоніки та гідропоніки. Вона пропонує високотехнологічні системи для автоматизованого вирощування рослин, що використовують передові методи розпилення води та поживних речовин, з інтегрованими моніторинговими та управлінськими системами для підтримки оптимальних умов для росту. Cyber Ponіс була заснована групою інженерів, науковців і технологічних підприємців, які прагнуть змінити підхід до сільського господарства, застосовуючи високі технології для вирощування рослин. Вони спрямовані на розв'язання проблеми глобального потепління, обмежених ресурсів і зростаючої потреби в їжі. Cyber Ponіс активно працює на міжнародному ринку, зокрема в США, Канаді та Європі, а також займається розробкою рішень для різних регіонів світу. Їхні рішення можуть бути застосовані як для малих фермерських господарств, так і для масштабних агробізнесів. В цілому, компанія сприяє розвитку технологій для стійкого сільського господарства, що дозволяє вирощувати більше продуктів з меншими затратами ресурсів та в умовах урбанізованих і кліматично складних регіонів.

Основні аспекти технологій Cyber Ponіс:

1. **Інтелектуальне управління:**
 - **Автоматизація:** Однією з головних особливостей технологій Cyber Ponіс є автоматизація процесів моніторингу та коригування параметрів. Вони застосовують IoT (Internet of Things) технології для збору

даних з різних датчиків, таких як температура, вологість, рН та рівень поживних речовин у воді.

- **Штучний інтелект:** Для оптимізації умов росту рослин використовуються алгоритми машинного навчання, що дозволяють адаптувати параметри системи відповідно до потреб рослин.

2. Інноваційні системи розпилення:

- **Низький витрат води:** Завдяки високоточним розпилювачам і мікроклімату, Cyber Ponіc може значно знизити витрати води порівняно з традиційними методами вирощування. Їх система розпилює воду в вигляді дрібного туману або аерозолі, що дає кореням рослин можливість максимально ефективно поглинати вологу і поживні речовини.
- **Високий рівень кисню:** Технологія дозволяє забезпечити рослини додатковим киснем через вільний доступ до повітря для кореневої системи.

3. Енергозбереження та стійкість:

- **Енергоефективність:** Всі системи Cyber Ponіc розроблені з урахуванням зниження енергоспоживання. Це включає ефективне використання енергозберігаючих насосів та адаптивних систем керування, які дозволяють зменшити витрати енергії.
- **Стійкість:** Продукція Cyber Ponіc зазвичай орієнтована на стійкість до змін клімату та адаптацію до умов, де традиційне сільське господарство не є ефективним або можливим

(наприклад, в умовах обмежених ресурсів води або обмеженого простору).

4. Рішення для міських фермерів:

- **Вертикальні ферми:** Cyber Ponіc активно сприяє розвитку вертикальних ферм, які дозволяють ефективно використовувати обмежений простір у містах для вирощування їжі.
- **Модульні системи:** Вони пропонують модульні фермерські системи, які можна адаптувати до різних умов, що робить їх підходящими для домашнього та комерційного використання.

Cyber Ponіc використовує інноваційні технології для покращення класичних аеропонічних систем. Це включає:

Системи для моніторингу та автоматичного управління: Cyber Ponіc інтегрує датчики для моніторингу рівня води, вологості, температури та pH у реальному часі, що дозволяє автоматично коригувати параметри без необхідності ручного втручання.

Удосконалені розпилювачі: Вони використовують більш точні та ефективні методи розпилення, щоб зменшити витрати води та забезпечити оптимальне зволоження коренів.

Оптимізація енергоспоживання: Завдяки спеціальним технологіям, що знижують споживання електроенергії, Cyber Ponіc вирішує проблему енергозалежності системи.

5. Біопоніка — це метод вирощування рослин, що поєднує елементи гідропоніки та аквапоніки. У біопонічних системах рослини отримують поживні речовини не тільки з водного розчину, як у гідропоніці, але й через симбіоз з мікроорганізмами та/або тваринами, що живуть у системі. Це створює своєрідний біологічний цикл, де

мікроорганізми, що займаються розкладанням органічних відходів, виробляють корисні речовини, які рослини використовують для росту.

Аквапоніка та біопоніка — це дві схожі, але різні системи вирощування рослин, які використовують природні процеси для забезпечення живлення рослин. *Аквапоніка*: Це система, яка поєднує вирощування рослин і аквакультуру (розведення риби або інших водних організмів). У аквапоніці риби (зазвичай соми, тріски, карасі тощо) забезпечують рослини поживними речовинами через свої відходи. Вода з рибного акваріума проходить через фільтраційну систему, де мікроорганізми перетворюють аміак і інші відходи в корисні для рослин сполуки (нітрати, фосфати тощо).

Біопоніка: Ця система є більш широкою і може включати в себе не тільки риб або водних організмів, але й інші біологічні компоненти, наприклад, корисні мікроорганізми, що допомагають переробляти органічні відходи та забезпечувати рослини поживними речовинами. У біопоніці може бути використаний не лише рибний компост, але й компост з інших біологічних джерел.

Хід роботи

1. Даємо відповіді на питання:

1. Які межі оптимальної температури пророщування насіння салату? Чи потрібне освітлення при пророщуванні насіння?
2. Які межі оптимальної температури води при вирощуванні салату на гідропоніці?
3. Як отримує воду салат на гідропоніці: - перші 20 днів?
- від 20 до 35 дня розвитку?
4. За якої мінімальної довжини коренів салату їх можна висаджувати в систему малооб'ємної проточної гідропоніки?
5. Як опиляється огірок в гідропонних теплицях?

6. Яка різниця між гідропонікою, аеропонікою, біопонікою та аквапонікою?
7. Яка середня прибавка урожаю овочів аквапоніки при застосуванні CO_2 ?
8. Який середній термін вирощування мікрозелені (межі)?
9. Які види рослин вирощують на мікрозелень?
10. Які фактори впливають на смак рослин в гідропоніці?
11. Назвіть основні типи субстратів для гідропоніки (4 типи).
12. Які типи гідропонних установок бувають? – 5 типів.
13. Які екологічні проблеми класичної гідропоніки та аквакультури вирішує аквапоніка? – 2 проблеми
14. Які середні норми витрат води на виробництво 1 кг риби в аквапоніці?
15. Які традиційні види риби вирощують у системах аквапоніки? – 4-5 видів
16. Яких іще гідробіонтів (крім риби) можна вирощувати у системах аквапоніки?
17. В чому суть подачі води у системах аквапоніки із
18. Навіщо біофільтри у системах аквапоніки?
19. Навіщо аератори води у аквапоніці?
20. Навіщо відстійники в системі аквапоніки?
21. В якому порядку розміщують модулі: аквакультури, гідропоніки, відстійник, аератор – поставте по порядку і зацикліть стрілками?
22. Що являє собою система аеропоніки?
23. Як рослини отримують воду і поживні речовини в аеропоніці?
24. Які основні засоби застосовують для розпилення води в аеропоніці? – 3 засоби
25. Як Cyber Ponіс вирішує проблеми класичної аеропоніки? – Якими засобами?
26. Навіщо наповнювачі у біофільтрах модуля очистки води системи аквапоніки?

2. Заповнюємо таблицю 2:

Таблиця 2

Аналіз агротехнологічних переваг та недоліків основних типів систем водної культури рослин

Тип системи	Тип подачі води (циркуляції)	Переваги	Недоліки
Гідропоніка	фітильний	2	4
	глибоководна культура	3	2
	періодичне затоплення (Aqua-Pot)	2	2
	поживний шар (малооб'ємна проточна система)	2	2
	крапельний полив (малооб'ємна проточна система)	2	1
Аеропоніка	розпилювач – водяний насос високого тиску	1	2
	компресорний розпилювач	1	2
	ультразвуковий розпилювач	2	1
Аквапоніка	Із рибами та салатом	3	1

3. Робимо висновки:

1. Для покриття круглорічних потреб міста-мільйонника України найбільш доцільними є такі системи водної культури рослин:

1) із такими видами рослин

2) із такими видами рослин

1. Для покриття круглорічних потреб міста-мільйонника Південної Азії (м. Дубай) найбільш доцільними є такі системи водної культури рослин:

1) із такими видами рослин

2) із такими видами рослин

(підбираємо види рослин та технологію їхнього вирощування).

Питання для самоконтролю:

1. Що таке гідропоніка і які основні системи цієї технології?
2. Як працює система живильного шару (NFT) в гідропоніці та які її переваги й недоліки?
3. Які культури є найбільш рекомендованими для вирощування в системі NFT?
4. У чому полягають переваги і недоліки глибоководної культури (DWC)?
5. Які фактори впливають на смак рослин, вирощених в гідропоніці?
6. Як працює система аквапоніки і які є переваги цього методу?
7. Які риби найкраще підходять для вирощування в аквапонічних системах?
8. Як аеропоніка відрізняється від гідропоніки і які основні її переваги?
9. Які є ризики та недоліки аеропонічних систем?
10. Як технологія компанії Cyber Ponіc сприяє розвитку стійкого сільського господарства?

Практична робота № 2

**Тема: Вирощування салату листового (*Lactuca sativa*)
методом гідропоніки та аквапоніки**

Метою є дослідження та порівняння методів вирощування салату листового (*Lactuca sativa*) у гідропонічних та аквапонічних системах, а також вивчення впливу різних умов вирощування на ріст, розвиток рослин та врожайність.

Завдання:

1. Заповнити таблицю технологічних параметрів вирощування салату листового.
2. Описати умови вирощування розсади (температурний режим, вологість, освітлення), систему живлення,

визначити оптимальний температурний режим для води та повітря на різних етапах росту рослин.

3. Розрахувати щільність висаджування

4. Обґрунтувати засоби регулювання рівня рН у гідропонних та аквапонічних умовах.

Салат листовий — це одна з найпоширеніших овочевих культур, яка має високу врожайність та швидкий цикл вирощування. Завдяки своїй високій харчовій цінності та популярності в раціоні людини, салат широко вирощують у різних аграрних системах, зокрема у гідропоніці та аквапоніці.

Листя салату мають ніжну текстуру і споживаються як у свіжому вигляді, так і після термічної обробки. Рослина має короткий вегетаційний період, зазвичай від 30 до 60 днів залежно від сорту та умов вирощування.

Оптимальна температура для проростання насіння: 18–22°C. Оптимальна температура для росту: 15–20°C вдень, 10–15°C вночі. Температура, що перевищує 25°C, може спричинити швидке старіння рослин, зниження якості листя та уповільнення росту. Салат потребує 12–14 годин світла на день. У теплицях зазвичай використовують додаткове освітлення для підтримання належної фотосинтетичної активності. Вологість повітря повинна бути в межах 60-70% для запобігання розвитку грибкових хвороб та для забезпечення оптимальних умов для росту кореневої системи. Оптимальний рівень рН живильного розчину: 5.5–6.5. Електропровідність (ЕС) для салату: 1.5–2.0 мСм/см.

Салат є рослиною з низьким рівнем вимог до елементів живлення, але для досягнення високих урожаїв потрібно забезпечити рослини всіма необхідними макро- та мікроелементами.

Макроелементи:

Азот (N): Салат потребує великої кількості азоту для формування вегетативної маси (листя). Однак надмірне азотне живлення може призвести до погіршення смакових якостей.

Фосфор (P): Сприяє розвитку кореневої системи та укріпленню клітинних стінок.

Калій (K): Важливий для підтримки водного балансу та розвитку клітинних структур.

Кальцій (Ca): Покращує структуру клітин і важливий для стійкості до хвороб.

Магній (Mg): Частина молекули хлорофілу, важливий для фотосинтезу.

Мікроелементи:

Бор (B): Важливий для росту коренів та зав'язування листя.

Цинк (Zn): Участь у метаболізмі рослин.

Мідь (Cu): Необхідна для забезпечення нормальних процесів фотосинтезу.

Молібден (Mo): Важливий для азотного обміну.

Салат листовий виносить з ґрунту або живильного розчину:

Азот (N): 100–150 кг/га. Фосфор (P_2O_5): 30–40 кг/га. Калій (K_2O): 150–200 кг/га. Кальцій (Ca): 40–60 кг/га. Магній (Mg): 20–30 кг/га.

Вирощування в гідропоніці

Гідропоніка є ефективним методом для вирощування салату, оскільки дозволяє точно контролювати умови живлення та води. У гідропонічних системах для салату використовуються різні методи, зокрема:

NFT (неперервний потік живильного розчину) — дозволяє рослинам отримувати постійний доступ до живильного розчину, при цьому коріння перебувають в постійному контакті з водою.

Система крапельного зрошення — забезпечує точне дозування води та поживних речовин без надмірної вологи.

Переваги гідропоніки:

- високий контроль за умовами вирощування.
- Швидке дозрівання рослин.
- Мінімізація використання пестицидів.

Недоліки:

- Високі початкові витрати на обладнання.
- Потреба в постійному моніторингу параметрів розчину.

Вирощування в аквапоніці

Аквапоніка є інтегрованою системою, в якій риби та рослини взаємодіють: риба виділяє відходи, що є джерелом поживних речовин для рослин, а рослини очищають воду, яку повертають назад до риб. Система аквапоніки є більш екологічною та потребує меншого використання зовнішніх ресурсів, таких як мінеральні добрива.

Переваги аквапоніки:

- Екологічна система.
- Забезпечення подвійного врожаю (риба та рослини).
- Зниження потреби в мінеральних добривах.

Недоліки:

- Складність в налаштуванні балансу між потребами риб та рослин.
- Необхідність регулярного контролю за якістю води.

Таблиця 3

Порівняння гідропоніки та аквапоніки для вирощування салату

Метод вирощування	Врожайність (тонн/га)	Переваги	Недоліки
Гідропоніка	30-50	Висока врожайність, контроль	Високі початкові витрати,

		живлення, менше хвороб	потреба в постійном у контролі
Аквапоніка	20-30	Екологічність, інтеграція рибного господарства	Складність підтримки балансу між рибами та рослинами
Ґрунт (традиційно)	10-20	Природний підхід, низька вартість старту	Залежність від погоди, менше контролю над живленням

Вибір між гідропонікою та аквапонікою залежить від доступності ресурсів, інвестицій та екологічних вимог. Гідропоніка забезпечує найвищу врожайність завдяки точному контролю за умовами, тоді як аквапоніка є екологічно чистим методом з інтеграцією рибного господарства.

Хід роботи

1. Заповнюємо таблицю 4 (допоміжна література [22-28])

Таблиця 4

Технологічні параметри вирощування салату листового в аквапоніці

Параметр	Значення для системи DWS	Значення для системи NFT
----------	--------------------------	--------------------------

Щільність висаджування (рослин/м ²)		
Об'єм води на 1 м ² (л)		
Температура води (°C)		
Температура повітря (°C, день/ніч)		
Тривалість освітлення (год/доба)		
Тип та потужність ламп (Вт/м ²)		
Рівень рН живильного розчину		
Електропровідність (ЕС, мСм/см)		

2. Оптимальна температура для проростання насіння: ____°C.

Температура для росту розсади: ____°C вдень, ____°C вночі.

Вологість повітря: ____%. Тривалість світлового дня: ____ годин. Тип освітлення (LED, ЛЛ, ДНаТ): _____. Інтенсивність світла: ____ мкмоль/м²/с.

Оптимальна електропровідність розчину (ЕС) для гідропоніки: ____ мСм/см та аквапоніки ____ мСм/см.

Діапазон рН в гідропоніці : від ____ до ____ та аквапоніці: від ____ до ____.

Ключові макроелементи та їх рекомендовані концентрації:

Азот (N): ____ мг/л.

Фосфор (P): ____ мг/л.

Калій (K): ____ мг/л.

Кальцій (Ca): ____ мг/л.

Магній (Mg): ____ мг/л.

У процесі вирощування салату в аквапонічній системі можуть виникати різні фактори, які обмежують його ріст і розвиток. Запропонуйте шляхи їх усунення (таблиця 5).

Таблиця 5

Основні проблеми при вирощуванні салату в аквапонічних системах та шляхи їх усунення

Проблеми	Можливі рішення (на розсуд студентів)
Невідповідність температурного режиму (занижена або завищена температура)	
Низька або надмірна вологість повітря	
Невірне освітлення або недостатня кількість світла	
Проблеми з балансом елементів живлення	розрахуйте оптимальне співвідношення макро- та мікроелементів для салату.
Недостатня аерація кореневої системи	розробіть методи покращення аерації у відповідних системах.
Забруднення води в аквапонічній системі	запропонуйте способи очистки води для забезпечення здоров'я рослин та риб.

3. Для розрахунку щільності висаджування салату листового потрібно знати розміри обраної аквапонічної системи або модуля (довжина, ширина) (див. таблицю 6).

Площа визначається за формулою:

$$S=L*B, \text{ м}^2$$

L – Довжина, м

B – Ширина, м

Для салату листового оптимальна відстань між рослинами залежить від обраної системи та методу висаджування. Це може бути:

для NFT: 15–20 см між рослинами в ряду;

для DWS: 20–25 см між рослинами.

Використовуємо формулу для визначення кількості рослин на 1 м²:

$$N = \frac{S}{(\text{Відстань між рослинами})^2}$$

4. Визначте оптимальний рівень рН для гідропоніки та аквапоніки; обґрунтуйте, за допомогою чого можна коригувати рН.

Таблиця 6

Вихідні дані

№	Довжина (L), м	Ширина (B), м
1	3	2
2	4	2.5
3	2	3
4	5	1.8
5	3.5	2.2
6	4	5
7	7	9
8	8	10
9	9	11
10	2	4

Питання для самоконтролю:

1. Яка оптимальна температура для проростання насіння та росту салату листового?
2. Які основні макроелементи потрібні для вирощування салату та яку роль вони виконують у його рості?
3. Які переваги та недоліки вирощування салату в гідропоніці та аквапоніці?

4. Як відрізняються методи NFT та крапельного зрошення для вирощування салату в гідропонічних системах?

Практична робота № 3

Тема: Роль риб у аквапонічних системах: Вплив на живлення рослин та стабільність екосистеми

Мета роботи: дослідження ролі риб в аквапонічних системах, вивчення їхнього впливу на розвиток рослин, а також оцінка ефективності використання риб у цих системах для забезпечення живлення рослин та підвищення продуктивності.

Завдання:

1. Обчислити кількість риб, необхідну для підтримки оптимальної біомаси в системі, враховуючи, що риби виробляють відходи, які включають як рідкі (вміст ЕЖ рослин), так і тверді відходи (мул).
2. Вихначити щільність посадки риби в аквапонічній системі

В аквапонічних системах риби і рослини взаємодіють у замкнутому циклі, де риби надають рослинам поживні елементи, а рослини очищають воду. Риби виділяють відходи, які містять токсичний аміак. У системі мікроорганізми перетворюють аміак на менш токсичні сполуки — нітрити та нітрати, які рослини використовують для свого росту. Рослини, в свою чергу, поглинають ці поживні елементи через корені, очищаючи воду для риб.

Риби виступають джерелом основних макро- та мікроелементів, таких як азот, фосфор, калій і кальцій, які необхідні рослинам. Азот, зокрема, у вигляді нітратів є важливим для росту рослин, а надмірні нітрити та аміак, якщо їх не очищати, можуть бути токсичними для риб.

Мікроорганізми у системі також відіграють важливу роль: бактерії, такі як *Nitrosomonas* і *Nitrobacter*,

перетворюють аміак у нітрати, що робить воду безпечною для риб і придатною для рослин. Однак баланс між кількістю риб і рослин критичний, оскільки надмірна кількість риб може призвести до накопичення токсичних сполук, а їх нестача — до дефіциту поживних речовин для рослин.

Оптимальні параметри води мають ключове значення для функціонування аквапонічної системи. Як видно з таблиці, рівень рН, температура та рівень кисню в воді повинні знаходитися в специфічних межах для забезпечення здоров'я як риб, так і рослин. Порушення цих параметрів може призвести до стресу у риб, зниження рівня кисню, що також негативно впливає на рослини, і обмеження доступу до поживних елементів для рослин.

Таблиця 7

Вплив основних параметрів води на здоров'я риб та розвиток рослин в аквапонічних системах

Параметр води	Вплив на риб	Вплив на рослини	Оптимальний діапазон
рН	Риби потребують рН 6.5–7.5 для нормального розвитку. Значення рН <6 або >8 може викликати стрес, знижуючи імунітет та призводячи до	Рослини краще засвоюють поживні речовини при рН 5.5–6.5. Надмірно високий або низький рН ускладнює доступ до важливих елементів, що	6.5–7.5 для риб, 5.5–6.5 для рослин

	токсичності аміаку.	призводить до дефіциту живлення.	
Температура	Оптимальна температура для більшості риб – 22–28°C. Висока температура (>30°C) знижує рівень кисню та призводить до стресу. Холодна вода (<18°C) сповільнює метаболізм.	Температура 18–24°C є оптимальною для росту більшості рослин. Занадто холодна або гаряча вода негативно впливає на ріст і здоров'я рослин.	22–28°C для риб, 18–24°C для рослин

Рівень кисню	Для здоров'я риб необхідно 6–8 мг/л кисню. Низький рівень кисню (<4 мг/л) може призвести до стресу та погіршення стану риб.	Кисень важливий для кореневого дихання рослин. Надмірно низький рівень кисню може призвести до погіршення росту і розвитку коренів.	6–8 мг/л для риб, 5–7 мг/л для рослин
---------------------	---	---	---------------------------------------

Вплив різних видів риб на розвиток рослин в аквапонічних системах залежить від характеристик їх відходів, зокрема складу та концентрації поживних елементів. Різні види риб виділяють різну кількість аміаку, нітритів і нітратів, що безпосередньо впливає на доступність поживних речовин для рослин.

Соми (особливо кларієвий сом) мають високу продуктивність у виділенні органічних відходів, що забезпечує рослини великою кількістю азоту та фосфору. Вони добре підходять для систем з високою інтенсивністю вирощування, оскільки їхні відходи сприяють активному росту рослин.

Тріска виділяє менше відходів порівняно з соми, і її вплив на рослини часто обмежений через низьку концентрацію поживних елементів. Тріска може бути менш ефективною для підтримки балансу живлення в системах з високими вимогами до поживних елементів.

Карпи виробляють середню кількість відходів, що забезпечує рослини добрим рівнем азоту та калію, але вони можуть бути менш ефективними, якщо система потребує високих концентрацій фосфору або інших елементів. Вони можуть бути корисні в системах середньої інтенсивності, де баланс між рибами та рослинами важливий.

Хід роботи

1. Щоб знайти кількість риб, необхідних для забезпечення рослин поживними речовинами, потрібно оцінити кількість відходів, які виробляють риби за певний період, та як це співвідноситься з потребами рослин.

Приклад:

Розрахунок біомаси риб: Риби згодовуються кормом у кількості 2-5% від їхньої біомаси на день. Для простоти припустимо, що на 1000 г біомаси риби потрібно 3% корму. Виходячи з цього, можна визначити, скільки корму споживатимуть риби на день, і скільки відходів вони вироблятимуть.

$$\text{Споживаний корм (г)} = \text{Біомаса риби (г)} \times 3\%$$

Обчислення кількості відходів: Рідкі відходи (вміст ЕЖ рослин у рідких відходах): 3% від біомаси риби. Тверді відходи (мул): 2% від біомаси риби.

Рідкі відходи: $1\,000\text{ г} \times 3\% = 30\text{ г}$

Тверді відходи: $1\,000\text{ г} \times 2\% = 20\text{ г}$

Визначення кількості рослин, яку можуть забезпечити відходи риб: Враховуючи, що рослини споживають певну кількість елементів живлення через воду, можна припустити, скільки відходів риб може задовольнити потреби рослин. Припустимо, що для 1 м² салату на 1 цикл вегетації(30 днів) потрібно 50 г азоту, фосфору та калію.

Нехай із 30 г рідких відходів 50% припадає на азот (цей показник можна коригувати залежно від типу риби і корму)

$$30\text{г} \times 50\% = 15\text{г азоту на день}$$

Для вирощування 1 м² салату на 30 днів потрібно 450 г азоту. Отже, для забезпечення 450 г азоту за 30 днів потрібно стільки риби:

$$\frac{450\text{ г}}{15\text{г} \times 30} = 1 \text{ шт}$$

Кількість мулу, що утворюється з 1 кг риби: 1 кг риби дає 20 г мулу на день. За 30 днів вегетації утворюється:
 $20 \times 30 = 600 \text{ г}$

2. Для досягнення оптимального розвитку рослин в аквапонічних системах важливо правильно визначити кількість риби. Цей баланс залежить від кількох факторів, таких як тип риби, види рослин, розміри системи та інтенсивність їх росту.

Загалом, необхідна кількість риби визначається через співвідношення між об'ємом води та площею рослин. Наприклад, для системи з сомами можна розраховувати на 20-30 риби на 1000 л води, в той час як для карпів і тріски ця кількість може бути меншою — близько 10-15 риби на 1000 л води. Важливо, щоб кількість риби була достатньою для вироблення необхідної кількості аміаку, який перетворюється на нітрати, що є основним джерелом живлення для рослин.

Щільність посадки визначається як кількість риби на одиницю площі (екз./га).

$$A = S/N \quad (1)$$

де:

N — кількість риби,

S — площа аквапонічної системи (м²) (вихідні дані практичної №3)

Однак занадто велика кількість риб може призвести до накопичення аміаку в системі, що погіршить умови для рослин. З іншого боку, якщо риб буде замало, рослини не отримуватимуть достатньо поживних елементів, що знизить їх ріст і врожайність. Тому для кожної аквапонічної системи важливо підтримувати правильний баланс.

Також варто враховувати, що різні види рослин мають різні потреби в живленні. Наприклад, салат чи інші листові зелені культури вимагають менше поживних речовин порівняно з більш вимогливими рослинами, такими як помідори чи огірки. Це впливає на кількість риб, необхідну для забезпечення їх потреб.

Загалом, оптимальна кількість риб на 1 м² рослинної площі для більшості аквапонічних систем становить близько 10-15 риб, залежно від їхнього виду та розміру.

Таблиця 8

Вихідні дані

№	Кількість риб в системі, шт	Вага 1 риби, г	Площа салату листового, м ²
1	10	450	4
2	11	789	3
3	16	345	6
4	15	678	8
5	19	132	10
6	13	657	23
7	14	985	4
8	6	354	7
9	18	777	2
10	19	836	5

Питання для самоконтролю:

5. Як риби взаємодіють з рослинами в аквапонічних

системах?

6. Які основні макро- та мікроелементи надають риби рослинам?
7. Як мікроорганізми в аквапонічних системах впливають на якість води для риб та рослин?
8. Які оптимальні параметри води (рН, температура, рівень кисню) необхідні для здоров'я риб та розвитку рослин?
9. Як різні види риб (соми, тріска, карпи) впливають на розвиток рослин в аквапонічних системах?
10. Як правильно визначити кількість риб для оптимального розвитку рослин в аквапонічній системі?

Практична робота № 4

Тема: Збалансування мінерального живлення в аквапонічних системах

Мета: Визначити вплив додавання різних мінеральних солей на ефективність розвитку рослин в аквапонічних системах, а також дослідити оптимальне співвідношення поживних елементів для досягнення високої врожайності при підтриманні здоров'я риб.

Завдання:

1. Знайдіть інформацію про оптимальні рівні елементів живлення в аквапонічних системах для рослин, таких як салат листовий. Цю інформацію можна знайти в наукових статтях, звітах, а також джерелах літератури [22-28].
2. Визначення необхідної кількості калію та азоту для 10 м² аквапонічної системи.
3. Визначте впливу калію на засвоєння азоту та інших елементів живлення рослинами

Аквапоніка є замкнутою екосистемою, в якій рослини отримують мінеральні елементи через кореневу систему з води, що проходить через них, а риби забезпечують рослини основними поживними речовинами через свої відходи.

Важливими елементами, які необхідні рослинам для нормального росту, є азот, фосфор, калій, кальцій, магній, сірка, а також мікроелементи, такі як бор, марганець, залізо, цинк і мідь.

Риби, в свою чергу, викидають відходи, що містять аміак. Цей аміак потім перетворюється мікроорганізмами на нітрати, які є основним джерелом азоту для рослин. Однак для підтримки оптимального рівня поживних елементів в аквапонічній системі, можливо, буде потрібно додавати певні мінеральні солі.

Незважаючи на те, що риби продукують основні макроелементи через свої відходи, в деяких випадках цього недостатньо для забезпечення оптимального росту рослин, особливо у високопродуктивних системах. Тому може знадобитися додавання мінеральних солей для підтримки балансу живлення.

Які солі можна додавати в систему?

1. Сульфат калію (K_2SO_4): джерело калію і сірки, корисне для розвитку кореневої системи та покращення стійкості рослин до стресових умов.
2. Нітрат кальцію ($Ca(NO_3)_2$): постачає кальцій і азот у воді, сприяє розвитку клітинних стінок і коренів, а також є важливим для фотосинтетичних процесів.
3. Магній сульфат ($MgSO_4$): забезпечує рослини магнієм, важливим для фотосинтезу, і сіркою, яка необхідна для формування білків.
4. Фосфат калію (KH_2PO_4): джерело фосфору та калію, необхідне для розвитку кореневої системи і покращення енергетичних процесів в клітинах рослин.
5. Мікроелементи (наприклад, хелат заліза): можуть бути додані у вигляді розчинів для корекції дефіциту заліза та інших мікроелементів, які важливі для нормального функціонування рослин.

Збалансоване мінеральне живлення є критичним для здоров'я як риб, так і рослин. Занадто високі концентрації солей можуть призвести до токсичності для рослин або риб, тоді як їх недостатність може обмежити розвиток рослин, що призведе до зниження врожайності.

Наприклад, додавання сульфату калію може бути необхідним для рослин, що мають високі потреби у калії, особливо для таких культур, як томати, огірки, перці. Водночас додавання фосфатів або нітратів може бути корисним для корекції дефіциту цих елементів у воді.

Оптимальне співвідношення солей залежить від типу рослин, які вирощуються в аквапонічній системі, і від інтенсивності вирощування. Для листових культур, таких як салат, вимоги до мінерального живлення можуть бути менш інтенсивними порівняно з більш вимогливими культурами, такими як томати або огірки. Тому для різних видів рослин можна коригувати співвідношення мінеральних елементів в системі шляхом додавання необхідних солей.

Вода в аквапонічній системі повинна мати певні параметри для оптимального розвитку як риб, так і рослин. Оптимальні рівні рН, температури та концентрації кисню повинні бути в межах, які підтримують як здоров'я риб, так і ріст рослин. Це означає, що потрібно регулярно моніторити ці параметри і, при необхідності, коригувати їх шляхом додавання мінеральних солей або за допомогою інших агрохімічних засобів.

Хід роботи

2. Перш за все, потрібно знати, скільки калію та азоту потрібно для вирощування 1 м² салату на 30 днів (дані із завдання №1).

Приклад:

Припустимо, що для 1 м² салату потрібно 50 г азоту та 50 г калію на 30 днів. То для 10 м² = 500г азоту та 500 г калію.

Визначаємо кількість сульфату калію для досягнення потрібної кількості калію. Враховуючи, що сульфат калію (K_2SO_4) містить приблизно 44.9% калію, можна розрахувати, скільки сульфату калію потрібно додати для забезпечення 500 г калію:

$$500/0,449 = 1113,6 \text{ г}$$

Азот у аквапонічній системі, як правило, забезпечується через відходи риби, тому додатково вносити азот не потрібно, якщо система працює правильно і є достатня кількість риби. Однак, якщо потрібно додавати азот у вигляді добрив (зокрема, амонійних добрив), можна розрахувати так:

Зазвичай в амонійному добриві (наприклад, аміачна селітра, NH_4NO_3) міститься 34-35% азоту

$$500/0,34 = 1470,6 \text{ г}$$

3. Калій допомагає рослинам ефективніше використовувати азот. Оскільки калій сприяє кращому засвоєнню елементів живлення, рослини будуть краще очищати воду, поглинаючи більше азоту з води, що покращує умови для риби і знижує токсичність води. *Припустимо*, що калій покращує засвоєння азоту вдвічі, тобто для кожного граму калію рослина може засвоїти додатково 2 грами азоту.

$$50 \text{ г калію} \times 2 = 100 \text{ г додаткового азоту на } 1 \text{ м}^2$$

Для 10 м^2 :

$$50 \text{ г азоту} \times 10 \text{ м}^2 = 500 \text{ г}$$

$100 \text{ г додаткового азоту} \times 10 \text{ м}^2 = 1000 \text{ г додаткового азоту}$
Отже, загальний азот, який рослина може засвоїти за 30 днів для 10 м^2 :

$500 \text{ г азоту (базова потреба)} + 1000 \text{ г (додатково)} = 1500 \text{ г}$
Завдяки додаванню калію, рослини отримують більше азоту, що покращує їх ріст і врожайність. Це може призвести до збільшення врожаю салату, оскільки азот сприяє росту листя.

Питання для самоконтролю:

1. Які основні мінеральні елементи необхідні для нормального росту рослин в аквапонічних системах?
2. Як риби забезпечують рослини поживними речовинами в аквапонічній системі?
3. Як мікроорганізми впливають на процес живлення рослин у аквапоніці?
4. Які солі можуть бути додані до аквапонічної системи для забезпечення рослин необхідними елементами? Назвіть принаймні три з них.
5. Яким чином можна коригувати баланс мінерального живлення для різних видів рослин в аквапонічній системі?

Практична робота №5

Тема: Вплив різних типів органічних відходів риб на засвоєння макро- та мікроелементів рослинами в аквапонічній системі

Мета: Вивчення впливу органічних відходів різних видів риб на засвоєння макро- та мікроелементів рослинами в аквапонічній системі.

Завдання:

1. Проаналізуйте, який тип відходів (рідкі або тверді) є більш ефективним джерелом для кожного з елементів (азоту, фосфору, калію)
2. Оцініть, які відходи дають кращі умови для зростання рослин
3. Провести розрахунок для оцінки того, які відходи дають кращі умови для зростання рослин

Органічні відходи риб, такі як аміак, фосфати, калій і мікроелементи, забезпечують рослини необхідними поживними речовинами, а рослини очищають воду від токсичних сполук, що виділяються рибами. Проте різні

види риб виробляють органічні відходи з різним складом, що безпосередньо впливає на ефективність засвоєння макро- та мікроелементів рослинами в аквапонічних системах.

Основні компоненти органічних відходів риб.

Органічні відходи риб складаються з численних сполук, зокрема аміаку (NH_3), фосфатів (PO_4^{3-}), калію (K^+), кальцію (Ca^{2+}), магнію (Mg^{2+}), сірки (SO_4^{2-}) та мікроелементів, таких як залізо (Fe), марганець (Mn), цинк (Zn), мідь (Cu) та бор (B). Зокрема, аміак, що виділяється через зябра, сечовидільну систему риб і їжу, є важливим джерелом азоту в аквапонічній системі. Аміак перетворюється мікроорганізмами на нітрیتی (NO_2^-), а згодом на нітрати (NO_3^-), які є основним джерелом азоту для рослин. Однак, надмірна кількість аміаку може бути токсичною для риб, тому важливо дотримуватися оптимального балансу в системі.

Види риб та їх органічні відходи. Різні види риб мають різну продуктивність у виділенні органічних відходів, що значно впливає на кількість та тип поживних елементів, доступних рослинам.

1. Кларієвий сом (*Clarias gariepinus*):

Органічні відходи: Соми є одними з найбільш продуктивних видів риб в аквапоніці, оскільки вони виділяють велику кількість аміаку, що забезпечує високий рівень азоту у воді. Вони також виділяють значну кількість фосфатів і калію, що сприяє розвитку рослин.

Вплив на рослини: Висока концентрація аміаку і фосфору в відходах сома позитивно впливає на розвиток рослин, таких як томати та огірки, які мають підвищені потреби в цих елементах. Водночас їх відходи можуть забезпечити добрий рівень калію для таких культур, як перці та зелень.

2. Тріска (*Gadus morhua*):

Органічні відходи: Тріска виділяє менше органічних відходів порівняно з соми. Її основні відходи включають азот у вигляді аміаку, але у менших кількостях, що призводить до меншої концентрації нітратів і фосфатів у воді.

Вплив на рослини: Тріска менш ефективна в забезпеченні рослин поживними елементами, особливо в системах з високими вимогами до азоту та фосфору. Однак, у менш вимогливих системах, де необхідність у таких елементах є помірною, тріска може бути ефективною.

3. Карп (*Cyprinus carpio*):

Органічні відходи: Карпи виробляють середню кількість відходів, що містять азот, калій і фосфор, але в менших концентраціях порівняно з сомами. Вони сприяють розвитку рослин, забезпечуючи їх основними макроелементами.

Вплив на рослини: Карпи є ефективними в аквапонічних системах середньої інтенсивності, де вони можуть забезпечити рослини необхідними елементами для росту. Вони також добре підходять для вирощування листових культур, таких як салат, оскільки ці рослини потребують менше поживних речовин, ніж плодові культури.

4. Тилапія (*Oreochromis spp.*):

Органічні відходи: Тилапії виділяють значну кількість азоту і калію, оскільки вони мають високий рівень метаболізму та швидке зростання. Тилапії також продукують фосфати, що робить їх корисними для систем, що потребують цих елементів.

Вплив на рослини: Тилапія підходить для вирощування рослин, які потребують високих рівнів калію та азоту, таких як помідори та огірки. Вони можуть бути використані в високопродуктивних системах.

Взаємодія органічних відходів риб та мікроелементів

Макроелементи, такі як азот (NH_3 , NO_3^-), фосфор (PO_4^{3-}) і калій (K^+), а також мікроелементи (Zn, Fe, Cu, Mn) у риб'ячих відходах є важливими для росту рослин. Азот, зокрема, є основним елементом для росту рослин, оскільки він входить до складу амінокислот і білків. Фосфор необхідний для формування кореневої системи і розвитку квітів, а калій відіграє важливу роль у регуляції водного балансу і зміцненні клітинних стінок.

Мікроелементи, хоча й потрібні рослинам у менших кількостях, також є важливими для їхнього нормального функціонування. Залізо, наприклад, необхідне для процесів фотосинтезу, марганець — для активності ферментів, а бор — для формування клітинних стінок і обміну речовин.

Роль мікроорганізмів у перетворенні відходів

Мікроорганізми в аквапонічній системі відіграють ключову роль у процесі нітрифікації. Бактерії *Nitrosomonas* перетворюють аміак на нітрити, а *Nitrobacter* — на нітрати, що є доступними для рослин у вигляді основного джерела азоту. Водночас, бактерії можуть допомагати в обробці інших органічних сполук, таких як фосфати, калійні солі та мікроелементи, що містяться в риб'ячих відходах, перетворюючи їх у форми, доступні для поглинання рослинами.

Засвоєння макро- та мікроелементів рослинами в аквапонічних системах залежить від типу органічних відходів риб. Різні види риб виробляють різні кількості поживних елементів, що визначає ефективність їх використання рослинами. Для оптимального розвитку рослин важливо правильно вибирати види риб, які будуть забезпечувати необхідні поживні елементи в оптимальних концентраціях. Правильний баланс між кількістю риб, їх

відходами і потребами рослин є критичним для досягнення високих показників врожайності в аквапонічних системах.

Хід роботи

1. Заповніть пропуски

Основні сполуки в рідких відходах:

_____ — містить азот, що доступний для рослин.

_____ — також є джерелом азоту, але може бути токсичним для риб, тому його концентрація в воді повинна бути контрольованою.

Основні сполуки в твердих відходах:

_____ — багаті на **фосфор, калій** та інші макроелементи.

_____ — містить органічні частинки, що поступово розкладаються і звільняють поживні елементи, такі як фосфор і калій.

Користуючись джерелами літератури, заповніть таблицю 9 скільки азоту, фосфору і калію міститься в кожному типі відходів.

Таблиця 9

Тип відходів	Азот (г/кг відходів)	Фосфор (г/кг відходів)	Калій (г/кг відходів)
Рідкі відходи			
Тверді відходи			

На основі отриманих даних та порівняння, вкажіть, який тип відходів краще забезпечує рослини кожним елементом.

Оцініть, як різний вміст елементів у рідких та твердих відходах може вплинути на вибір типу відходів для аквапонічної системи.

2. Заповнити таблицю 10, для кожного типу рослин визначте, який тип відходів (рідкі або тверді) найкраще забезпечить необхідні елементи.

Таблиця 10

Тип рослин	Потреби в азоті (г/м ² на місяць)	Потреби в фосфорі (г/м ² на місяць)	Потреби в калії (г/м ² на місяць)	Кращі відходи (рідкі/тверді)
Салат листовий				
Помідори				
Огірки				

3. Проведіть розрахунок для оцінки того, які відходи дають кращі умови для зростання рослин, в залежності від вмісту елементів живлення в рідких і твердих відходах.

Визначити, скільки азоту, фосфору і калію рослини потребують для нормального розвитку (практична робота №5).

Наприклад:

На 1 м² аквапонічної системи можна припустити, що для 30 днів вегетації рослинам потрібно Азоту - 50 г, фосфору - 15 г, Калію - 30 г.

Рідкі відходи:

Кількість відходів, які потрібні для забезпечення певної кількості елементу (наприклад, азоту) можна розрахувати за формулою:

$$\text{Кількість відходів (кг)} = \frac{\text{Необхідна кількість елементу (г)}}{\text{Вміст елементу в рідких відходах } \left(\frac{\text{г}}{\text{кг}}\right)}$$

Тверді відходи:

$$\text{Кількість відходів (кг)} = \frac{\text{Необхідна кількість елементу (г)}}{\text{Вміст елементу в твердих відходах } \left(\frac{\text{г}}{\text{кг}}\right)}$$

Для азоту

$$\text{Кількість рідких відходів (кг)} = \frac{50}{20} = 2,5$$

$$\text{Кількість твердих відходів (кг)} = \frac{50}{15} = 3,3$$

Після проведення розрахунків оцініть, які типи відходів є більш ефективними для забезпечення рослин необхідними макро- і мікроелементами, та зробіть висновок про оптимізацію умов для зростання рослин у аквапонічних системах.

Питання для самоконтролю:

1. Які органічні відходи риб є основними джерелами поживних елементів для рослин в аквапонічних системах?
2. Які макроелементи присутні в органічних відходах риб і яку роль вони виконують в аквапонічній системі?
3. Як аміак, що виділяється рибами, перетворюється в доступні форми азоту для рослин?
4. Як різні види риб впливають на концентрацію поживних елементів у воді аквапонічної системи?
5. Чому важливо підтримувати баланс між кількістю риб і рослин в аквапонічній системі?
6. Які особливості органічних відходів кларієвого сома і як вони впливають на розвиток рослин?
7. У чому полягають основні відмінності в органічних відходах тріски, карпа та тилапії?
8. Як мікроорганізми впливають на перетворення органічних відходів риб у доступні для рослин форми?
9. Як мікроелементи, що містяться в риб'ячих відходах, сприяють нормальному росту рослин в аквапонічних системах?
10. Які фактори необхідно враховувати при виборі виду риб для аквапонічної системи з урахуванням потреб рослин?

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Агрономія : навчальний посібник / Денисенко М. І., Мельник Л. О. та ін. Київ : Університет економіки і права «Крок», 2016.
2. Шевчук С. А. Агрохімія : підручник. Київ : Вища школа, 2012.
3. Старовойт О. В. Основи агрономії та рослинництва. Харків : ХНАУ ім. В.В. Докучаєва, 2017.
4. Vavrina C. S., Schumann A. W. Cucumber Production in Hydroponics and Aquaponics: Review of Methods and Practices. *HortScience*, 2010. 45(2). P. 135–139.
5. Blake L. J., Wang M. Plant Nutrition for Hydroponics and Aquaponics Systems. *Plant Growth Regulation Journal*, 2013. 67(1). P. 22–35.
6. Rakocy J. E., Hargreaves J. A. Aquaponic Systems: Integration of Fish and Plant Culture. *Aquaculture Engineering*, 1993.
7. Love D. C., Fry J. P. Sustainability of Aquaponics Systems. *Aquaculture Research*, 2015.
8. Somerville C., Cohen, M., Pantanella E., Stankus A., Lovatelli A. Small-Scale Aquaponic Food Production: Integrated Fish and Plant Farming. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. 2014.
9. Goddek S., Keesman K. J. Aquaponics Food Production Systems: Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies. Springer Nature, 2018.
10. McMurtry M. J., Rakocy J. E. Aquaponic Systems: A Review. *Aquaculture*, 1997.
11. Graber A., Junge R. Aquaponic Systems: Nutrient Recycling from Fish Wastewater for Plant Production. *Desalination*, 246(1-3). 2009. P. 147–156.
12. Петренко О. А. Технології вирощування огірка в теплицях. Київ : Агроцентр, 2014. С. 45–62.

13. Бондар О. П. Основи рослинництва та агротехнології овочевих культур. Львів : Львівський національний аграрний університет, 2015. С. 110–123.
14. Павленко М. І., Мельник А. В. Агротехніка вирощування овочів. Харків : ХНТУСГ, 2013. С. 98–105.
15. Шевчук С. А. Технології вирощування овочевих культур у теплицях. Київ : Урожай, 2011. С. 70–85.
16. Якимчук О. М., Ткаченко І. В. Системи вирощування огірків в умовах закритого ґрунту. Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2016. С. 53–67.
17. Баранов П. О. Агротехніка овочевих культур: Технології вирощування огірків. Одеса : Одеський аграрний університет, 2012. С. 88–92.
18. Гавриленко В. В. Сучасні технології вирощування салату в закритому ґрунті. Київ : Аграрна освіта, 2015. С. 42–58.
19. Ковальчук Л. М. Оптимізація мінерального живлення салату в гідропонних системах. Львів : Львівський національний аграрний університет, 2018. С. 60–75.
20. Пилипенко С. П., Олійник Р. Ю. Технології виробництва салатних культур у відкритому ґрунті. Полтава : Полтавський державний аграрний університет, 2013. С. 35–50.
21. Сидоренко В. О. Гідропонне вирощування салату: методи та перспективи розвитку. Харків : ХНАУ ім. В. В. Докучаєва, 2017. С. 78-90.
22. Польовий В. М., Майборода Х. А., Polovyi, V. M., Maiboroda H. A. Аквапоніка як інноваційна технологія для вирощування екологічно чистих продуктів. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*. 2022. 3(99). С. 116–126.
23. Польовий В. М., Майборода Х. А. Проблеми живлення салату листового (*Lactuca sativa*) в системі аквапоніки. *Проблеми та перспективи розвитку сучасної науки :*

матеріали Міжнародної науково-практичної конференції молодих науковців, аспірантів і здобувачів вищої освіти (Рівне, 11–12 травня 2023 р.). Рівне : НУВГП, 2023. С. 693–696.

24. Колесник Т. М., Майборода Х. А. Використання поживних розчинів у системі глибоководної гідропоніки. *Збірник тез доповідей I-ї міжкафедральної науково-практичної конференції* (Україна, м. Рівне, 16–17 травня 2023 р.). Рівне : НУВГП, 2023. С. 10–12.
25. Майборода Х. А. Зростання салату листового у системі аквапоніки із сомом кларієвим. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*. 2024. 3(107). С. 134–144.
26. Колесник Т. М., Польовий В. М., Майборода Х. А. Оцінка розвитку *Lactuca sativa* Batavia Aficion в гідропонній та аквапонній системах. *Рослинництво та ґрунтознавство*. 2024. Т. 15, № 1. С. 41–51. DOI: 10.31548/plant1.2024.41.
27. Колесник Т. М., Майборода Х. А. Вплив рН на врожайність рослин в аквапонічних системах. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*. 2024. 4(108). С. 118–128.
28. Польовий В. М., Колесник Т. М., Майборода Х. А. Обґрунтування оптимальної системи живлення салату листового для умов гідропоніки. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*. 2023. 3(103). С. 190–197.