

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Факультет водогосподарської інженерії та екології Кафедра екології

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

в.о.зав. кафедри екології

к.с.-г.н. _____ В.В. Кацевич

« ____ » _____ 20__ р.

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

освітнього ступеня «Магістр»

на тему: « Біоіндикація екологічного стану садових агроєкосистем
селянського фермерського господарства «Відродження» Дніпровського
району Дніпропетровської області »

Виконала: здобувачка вищої освіти 2 курсу,
групи МгЕ-1-22 спеціальності 101 «Екологія»
_____ Захаренко К. С.

Керівник _____ к.с.-г.н. доцент Зленко І. Б.

Рецензент _____ ст.н.с., к.с.-г.н. Десятник Л. М.

Дніпро-2023

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Факультет водогосподарської інженерії та екології

Кафедра екології

Спеціальність 101 «Екологія»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

В.о.зав. кафедри екології

к.с.-г.н. _____ В.В. Кацевич

«___» _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу для здобуття освітнього ступеня «Магістр»

здобувачу вищої освіти

Захаренко Катерині Сергіївні

1. Тема проекту (роботи) Біоіндикація екологічного стану садових агроecosystem сільського фермерського господарства "Відродження" Дніпровського району

керівник роботи: доц. к. с-г. н. Зленко Ірина Борисівна

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджена наказом по ДДАЕУ від «10» жовтня 2023 р. № 3057.

2. Термін здачі здобувачем вищої освіти закінченого проекту (роботи): «__» _____ 2023 р.

3. Вихідні дані до роботи Зразки ґрунту зібрані під різними агроценозами за період вегетації в садах сільського фермерського господарства «Відродження»4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити): Вступ; 1 Огляд літератури; 2 Матеріали та методи досліджень; 3 Результати досліджень; 4 Охорона праці; Висновок; Список використаних джерел

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

Рисунків – 18

Таблиць – 12

Використаної літератури – 60

Розділів – 4

Сторінок – 74

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

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1-4	Зленко І. Б.		

Дата видачі завдання: « ____ » _____ 20 ____ р.

Керівник проекту (роботи) Зленко Ірина Борисівна / _____
(ПІБ). / (підпис)

Завдання прийняв до виконання: Захаренко Катерина Сергіївна / _____
(ПІБ). / (підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

- № пп	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури	03.09.23-06.10.23	виконано
2	Матеріали та методи досліджень	09.10.23-13.11.23	виконано
3	Результати досліджень	13.11.23-30.11.23	виконано
4	Охорона праці	30.11.23-05.12.23	виконано
5	Висновок	06.12.23-07.12.23	виконано

Студент-дипломник _____ / Захаренко Катерина Сергіївна
(підпис) / (ПІБ).

Керівник проекту (роботи) _____ / Зленко Ірина Борисівна
(підпис) / (ПІБ).

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	5
ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ	6
ВСТУП	7
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	9
1.1 – Інтенсивні сади	11
1.2 Фіксація азоту в ґрунтах	14
1.3 <i>Azotobacter</i> як індикатор стану ґрунтів	18
2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	27
2.1 Матеріали досліджень	27
2.1.1 Еколого-біологічні особливості культури черешня	28
2.1.2 Еколого-біологічні особливості культури абрикос	29
2.1.3 Еколого-біологічні особливості культур персик та нектарин	31
2.1.4 Еколого-біологічні особливості культур слива та алича	32
2.2 Характеристика ґрунтів та кліматичні умови	33
2.3 Методи досліджень	36
3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	39
3.1 Загальні особливості розподілу чисельності ґрунтових мікроорганізмів циклу азоту	44
3.2 Спрямованість мікробіологічних процесів в досліджуваних ґрунтах...	55
3.3 Потенційні економічні переваги впровадження результатів дослідження	61
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	63
ВИСНОВКИ	68
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	70

РЕФЕРАТ

Магістерська курсова робота складається з 74 сторінок та включає в себе 18 табл., 18 рис., 60 джерел.

Актуальність: Біоіндикація ґрунтів дозволяє вчасно виявляти негативні зміни в природному середовищі та розробляти ефективні заходи для його відновлення. Вибір *Azotobacter* як біоіндикатора допомагає зосередитися на важливому компоненті ґрунтового мікробіоценозу, який має значний вплив на азотний обіг та забезпечує стійкість екосистем до зовнішніх впливів.

Мета: Дослідити садові агроєкосистеми, з метою висвітлити особливості існування мікроорганізмів азотного циклу, які є важливим індикатором родючості ґрунтів.

Предмет досліджень – бактерії роду *Azotobacter*.

Об'єкт досліджень: садові екосистеми у сільському фермерському господарстві «Відродження». Ефективність досліджень збільшується, коли вони проводяться на багаторічних насадженнях, оскільки це дозволяє вивчати динаміку змін у природних системах протягом тривалого періоду.

Поставлені завдання: Провести аналіз проб ґрунту для виявлення сезонної динаміки розподілу бактерій роду *Azotobacter* під агроценозами плодкових дерев за період вегетації.

Методи досліджень: Метод посіву на тверді середовища, метод непрямого підрахунку, метод оброслих грудочок ґрунту.

Ключові слова: БІОІНДИКАЦІЯ, АГРОЦЕНОЗ, ФІКСАЦІЯ АЗОТУ, AZOTOBACTER, АМОНОФІКУЮЧІ ОРГАНІЗМИ, ОЛІГОТРОФИ

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ

СФГ – селянське фермерське господарство

EPS – екзополісахариди

ПС – поживне середовище

МПА – м'ясо-пептонний агар

КАА – крохмало-аміачний агар

ГА -голодний агар

R – розчин м'ясо-пептонного агару

KR – розчин крохмало-аміачного агару

КУО – колонієутворюючі одиниці

ВСТУП

Сучасний екологічний стан агроecosystem визначає необхідність впроваджувати для них нові, ефективні методи контролю та оцінки. Одним із таких методів є біоіндикація, яка в останні роки набуває все більшого значення в контексті оцінки екологічного стану садових агроценозів.

Мета дослідження полягає у вивченні садових агроecosystem з метою розкриття особливостей функціонування мікроорганізмів, які беруть участь в азотному циклі. Ці мікроорганізми, зокрема бактерії роду *Azotobacter*, є ключовим індикатором родючості ґрунтів. Основний акцент робиться на ролі *Azotobacter* у фіксації азоту, його перетворенні у форму, що доступна для рослин.

Дослідження визначається прагматичним значенням цих бактерій, оскільки їхні функції визначають не лише фізіологічні аспекти росту та розвитку рослин, але й загальну продуктивність екосистем.

Об'єктом досліджень є садові екосистеми, представлені в селянському фермерському господарстві «Відродження». Важливість проведення досліджень на тривалих ділянках полягає в можливості вивчення динаміки змін у природних системах протягом тривалого часового періоду, що сприяє більш повному розумінню екосистемних процесів.

Біоіндикація ґрунтів є важливою складовою у здійсненні ефективного моніторингу екологічного стану, вона дозволяє отримати об'єктивні дані про вплив антропогенних факторів на ґрунтовий покрив.

Важливо визначити, що втрати біорізноманіття не лише поглиблюють екологічні проблеми, але й загрожують стійкості природних систем. У контексті біоіндикації ґрунтів особливу вагу має висвітлити дослідження

роду бактерій *Azotobacter*, адже вони взаємодіють з рослинами та ґрунтом, впливаючи на його фізико-хімічні властивості.

Отже, проведення досліджень з використанням біоіндикації на багаторічних насадженнях, з фокусом на *Azotobacter*, відкриває нові можливості для забезпечення сталості садових агроecosystem, враховуючи необхідність збереження та відновлення екологічного балансу.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Стала агроекосистема визначається максимальним біорізноманіттям ґрунтової флори. Антропогенне навантаження на ґрунти, а саме елементи агротехнології чинять негативний вплив на ґрунтову біоту. Елементами агротехнологій є зрошення, що може викликати вторинне засолення ґрунтів, фертигація - внесення пестицидів або добрив, та засоби захисту від шкочинних організмів, частина яких потрапляє в ґрунт. Ґрунти втрачають певну кількість видів мікроорганізмів, які відповідають за ключові процеси обміну азоту.

Активне використання хімічних добрив в аграрному виробництві [1] та ігнорування значимості природних процесів призвели до небажаного ефекту деградації ґрунтів та виникнення ряду серйозних екологічних проблем. Серед цих проблем важливе місце займає стан угруповань мікроорганізмів в ґрунті, який став вразливим через несприятливі втручання [2].

Глобальна хімізація сільськогосподарської діяльності призводить до руйнівного впливу на природні біологічні процеси в ґрунті. Інтенсивне застосування хімічних добрив та пестицидів сприяє втраті різноманітності мікроорганізмів та порушенню їхньої екосистемної ролі [3, 4, 5].

Перш за все, це призводить до втрати різноманітності мікроорганізмів у ґрунті. Багато з цих мікроорганізмів відіграють ключову роль у збереженні родючості ґрунту, забезпечуючи його екологічну рівновагу та нормальний обмін речовин. Зменшення різноманітності цих мікроорганізмів може призвести до негативних змін у структурі ґрунту, його водоутримуючих властивостях та ефективності утримання поживних речовин.

Помітною проблемою є також порушення екосистемної ролі мікроорганізмів. Багато з них взаємодіють з корінневою системою рослин,

сприяючи їхньому здоров'ю та росту. Застосування хімічних речовин може вплинути на цю взаємодію, зменшуючи здатність рослин взаємодіяти з ґрунтовим середовищем.

Необхідною стає переосмислення підходів до сільськогосподарської діяльності з урахуванням збереження природних екосистем. Розвиток екологічно збалансованих методів господарювання, які б зменшували вплив хімічних речовин на ґрунт і зберігали його природні функції, стає критичним завданням для збереження біорізноманіття та стабільності природних екосистем.

Симбіотичний зв'язок між корінням рослин та ґрунтовими мікроорганізмами визначає ефективність поглиблення рослинами поживних речовин. Ці мікроорганізми виконують важливу функцію у перетворенні різноманітних сполук, недоступних для рослин, у форми, які стають мобільними та оптимальними для метаболізму рослини. Цей процес взаємодії є ключовим для забезпечення рослин життєважливими поживними речовинами. Мікроорганізми використовують свої біологічні механізми для розкладання та трансформації складних речовин у ґрунті, забезпечуючи доступ рослин до необхідних ресурсів [6].

Мікробна біомаса представляє собою значущий, живий та легко змінюваний компонент органічних речовин ґрунту, виступаючи природним індикатором мікробного потенціалу цього середовища. Використання цього показника широко розповсюджене для оцінки стану мікробіоценозу, дозволяючи визначити його активність та здатність до розкладання органічних сполук. Переваги біологічних індикаторів: чутливість до впливу зовнішніх факторів та виявлення негативних процесів на ранніх етапах розвитку [7, 8].

Отже, опираючись на різноманіття мікроорганізмів, що знаходяться в ґрунтах, можна зробити висновки щодо їх пригніченості, викликані технологічними процесами. Застосування хімічних добрив і пестицидів може призвести до змін у складі та кількості мікроорганізмів. Деякі види можуть

виявити пригніченість або навіть зникнути через високу концентрацію хімічних речовин. Наприклад, бактерії та гриби, які сприяють розкладанню органічної речовини, можуть втратити активність.

Зважаючи на це, важливо визначати оптимальні дози та типи хімічних речовин, а також впроваджувати екологічно збалансовані методи сільськогосподарської діяльності. Збереження різноманіття мікроорганізмів допомагає підтримувати стійкість екосистем та забезпечувати продуктивність ґрунту у довгостроковій перспективі.

Дослідження в цьому напрямку може допомогти впровадженню більш ефективних та екологічно безпечних сільськогосподарських методів, спрямованих на збереження різноманіття мікроорганізмів та збалансованість ґрунтового середовища.

1.1 – Інтенсивні сади

Основними параметрами інтенсивності садів є ефективність вирощування та якість урожаю. Складові інтенсивної технології включають в себе різноманітні аспекти, такі як будова дерев, вибір відповідних сортів-підщепні комбінацій, система удобрення, методи утримання ґрунту, регулювання водного режиму та фітосанітарний стан, специфічний для конкретних ґрунтово-кліматичних умов. Ці параметри взаємодіють та визначають успішність садів в конкретному середовищі [9].

Проектування інтенсивного саду передбачає уважне врахування різних аспектів. Серед ключових складових варто враховувати жорсткі вимоги щодо обраного місця для закладання саду, з особливим акцентом на високу культуру землеробства. Також слід враховувати розробку ефективної системи удобрення та захисту від хімічних і біологічних загроз для багаторічних насаджень. Крім того, проект повинен включати ретельне

планування системи зрошення, щоб забезпечити оптимальні умови для росту і розвитку рослин. Важливо також обґрунтувати вибір сортів, враховуючи їх стійкість до конкретних кліматичних умов, а також вибір підщеп та методів кронування для досягнення оптимальних результатів у вирощуванні садових культур. Такий підхід дозволяє створити ефективну та стійку систему високопродуктивного садівництва [10].

Інтенсивне садівництво визначається своєю спрямованістю на швидке досягнення високої продуктивності та підвищення економічної ефективності виробництва порівняно з традиційними методами. Однією з ключових переваг інтенсивних садів є їх швидке вступання у плодоношення, вже на третій рік після посадки, порівняно з класичними насадженнями, які можуть вимагати до десяти років очікування [11].

Інтенсивні сади досягають вражаючих врожаїв завдяки оптимізованим системам удобрення та догляду, а також використанню продуктивних сортів. Це приводить до більш ніж удвічі збільшеної економічної ефективності в порівнянні з традиційними садами.

Однак ефективність інтенсивного садівництва не обмежується лише швидким отриманням врожаю. Системи цих садів сприяють ефективному використанню робочої сили, забезпечуючи вищу продуктивність при збиранні та одночасно зменшуючи потребу в ручній праці. Це також призводить до скорочення витрат на прибирання та підвищення загальної ефективності виробництва.

Важливим аспектом інтенсивного садівництва є його фокус на екологічності та стійкості до кліматичних умов. Вибір сортів, підщеп, технологій зрошення та інших аспектів здійснюється з урахуванням конкретних ґрунтово-кліматичних умов, що сприяє стабільному та довгостроковому успіху садового господарства.

Зокрема, управління вологою стає вирішальним фактором для інтенсивних садів. Забезпечення ефективної системи зрошення та утримання оптимального рівня вологості в ґрунті грає ключову роль у вирощуванні

здорових та продуктивних рослин. Розробка інноваційних методів контролю вологи допомагає уникнути водного стресу та забезпечує стійкість до змін кліматичних умов.

Сучасні підходи до поливу плодкових культур націлені на оптимізацію управління водним режимом ґрунту та підвищення ступеня автоматизації. Головним фактором є точне регулювання подачі поливної води відповідно до потреб рослин, сприяючи ефективному використанню водоспоживання та зменшенню загальних витрат води. Один із ключових аспектів цих підходів полягає в використанні автоматизованих систем, які враховують фактори, такі як тип ґрунту, кліматичні умови та фази розвитку рослин. Це дозволяє створити графік поливу для конкретних потреб кожного виду культури. Також, важливим фактором є зменшення витрат води, для цього використовують системи крапельного поливу та збирання дощової води для подальшого користування [12].

Структурна обробка ґрунту в інтенсивних садах має сучасний підхід. Замість традиційної обробітки, віддається перевага методам, спрямованим на збереження його структури. Мінімальна обробка та використання методів покривного вирощування сприяють збереженню важливих шарів ґрунту, запобігаючи ерозії та підтримуючи його родючість.

В інтенсивних садах використовуються три основні стратегії утримання ґрунту: дернового-перегнійна, парова та паро-сидеральна. Їх підбирають в залежності від ґрунтового кліматичних умов. Дернового-перегнійна система сприяє підтримці ґрунтової структури та збереженню вологи, шляхом чергування періодів покриття та обробітку ґрунту. Парова система полягає в використанні паропроникного покриття для збереження вологи та температури ґрунту. В основі паро-сидеральної системи – комбінація обробітку ґрунтів та вирощування певних культур, тобто коли ґрунт звільнений від основної культури, на її місці вирощують сидеральну запобігання ерозії ґрунтів та утриманні в них вологи [13].

Фруктові дерева ростуть в промислових садах щонайменше дванадцять років. Щороку в них повторюються хвороби і шкідники, та впливають одні і ті самі діючі речовини, тобто ґрунти тривалий час знаходяться під умовно однотипним агротехногенним навантаженням. Нами були обрані саме ці культури, оскільки на таких ділянках не буває обробітку ґрунту, а отже не порушується водно-повітряний режим [13].

Особливістю інтенсивних садів є утримання ґрунтів, в яких відбувається активний виніс поживних речовин, тому біоіндикація стану цих агроecosystem необхідна як доступний метод дослідження поповнення фонду азоту. В іншому випадку, якщо буде спостерігатися виснаження по азоту або велика кількість токсичних речовин, то належним чином не буде відбуватися або буде обмежено відбуватися азотфіксація. Такі процеси супроводжуються втратою родючості ґрунту, зниженням продуктивності рослин, втратою біорізноманіття та великими затратами на інтенсивне використання хімічних добрив.

1.2 Фіксація азоту в ґрунтах

Найважливішим фактором родючості садових агроecosystem є процеси, що являються результатом життя мікроскопічних рослин. Тісний зв'язок, який виникає між цими мікроскопічними формами та вищими рослинами, на розвиток яких вони суттєво впливають, а також їх реакцію на однакові агенти стимуляції чи пригнічення, разом із їх тісною аналогією у створенні фізіологічних функцій, ці факти супроводжуються висновком, що будь-який аномальний стан, що впливає на один елемент, матиме відповідний вплив на інший [14].

Азот виступає як один із компонентів природних екосистем, але для забезпечення життєвої діяльності організмів, що в цих екосистемах, його

потрібно перетворювати в інші хімічні форми. Ключову роль у цьому процесі виконує бактеріальний цикл азоту. Зазначені мікроорганізми впливають на важливу функцію у підтримці стійкого балансу азоту в екосистемах і можуть служити ключовими показниками змін у пошкоджених екосистемах, особливо в тих, що характеризуються низьким рівнем забруднення. Відслідковування цих бактеріальних важливих речовин для безпечного виявлення та управління можливими загрозами для природного середовища [15].

Процес мінералізації органічних азотних сполук в ґрунтах, які природно володіють високим вмістом органічної речовини, проявляє вищу ефективність при нітрифікації, ніж при амоніфікації. У випадку сприятливих умов для нітрифікаційного процесу існує ризик вимивання нітратів із ґрунту в ґрунтові води, хоча це значення великою мірою залежить від типу сільськогосподарського використання оброблюваних земель [16].

Амоніфікація є важливою частиною азотного циклу, який включає в себе ряд хімічних та біологічних процесів, що відбуваються в ґрунті та водних екосистемах. Основна мета амоніфікації - перетворення органічних з'єднань азоту, зокрема білків, в аміак, амоній та інші сполуки, які можуть використовуватися рослинами для синтезу білка.

Азот в процесі амоніфікації виступає у ролі ключового каталізатора та сировини для формування аміноносійних сполук. Початково, білки в органічних залишках, таких як рослинні та тваринні відходи, піддаються дії азотобактерій та археїв, які розкладають їхню структуру.

Аміак, отриманий у результаті амоніфікації, може подальше перетворюватися у різні азотисті сполуки, які стають доступними для рослин та інших організмів. Цей процес відіграє ключову роль у циклі азоту, забезпечуючи перехід азоту в різноманітні форми, які можуть використовуватися у живих системах.

Таким чином, азот виступає не лише як каталізатор, але й як сировина для створення аміноносійних сполук, які є будівельним матеріалом для синтезу білків та інших важливих біомолекул.

Вивчення кругообігу азоту стало ключем до розуміння складних екосистем та важливих процесів, що відбуваються в природі. Від розуміння процесів кругообігу азоту залежить здатність сучасного суспільства ефективно управляти ресурсами та зберігати екологічну рівновагу.

Вчена *Renata Gaj* зазначила «Надходження азоту в рослинний організм визначається наявністю доступних його форм у ґрунті. Відповідно з науковими даними, рослини засвоюють 50% азоту, що надходить у ґрунт з добривами, 25% піддається іммобілізації, на втрати внаслідок денітрифікації припадає 20%, вилуговування – 5%.» [17].

У природі налічується декілька джерел накопичення мінерального азоту в ґрунтах: бактерії, що поглинають азот, зливові дощі та мінералізація органічних речовин. Під впливом ферментів азотовмісна речовина розпадається на амінокислоти, які в свою чергу розкладаються до аміаку. Такий процес відбувається в анаеробних умовах та називається амоніфікацією. В аеробних умовах за допомогою бактерій амоній перетворюється на нітрати (NO_3^-). Розвиток амоніфікації в інших мікробіологічних процесах визначається достатньою кількістю тепла, вологи та кисню. Сприятливі умови в ґрунті виникають навесні, під впливом зростання температури, посиленнями опадами та активізацією мікробіологічних процесів, що й призводить до нітрифікації [18].

Фіксація азоту є одним із ключових біологічних процесів, відомих своїй значущості, і підтверджується захоплюючою мікробною активністю на поверхні нашої планети. Цей процес забезпечує шлях перетворення азоту та грає невід'ємну роль у підтримці азотного гомеостазу в біосфері. Крім цього, біологічна фіксація азоту має важливу роль у збереженні родючості обґрунтованої та підвищеної продуктивності сільськогосподарських культур [19].

Karl Fisher та *William E. Newton* вивчали різні форми фіксації азота: хімічну «Азот може бути фіксований блискавкою, горінням і вулканізмом. Величезна енергія блискавки іонізує молекули в атмосфері, дає їм змогу об'єднуватися й утворювати оксиди азоту, що становить 10% від загального річного виходу зв'язаного азоту» та синтетичну «Азот можна фіксувати за допомогою процесу Габера та Боша шляхом поєднання атмосферного азоту, газу (звільненого від забруднюючого O_2) та водню (H_2) (зазвичай одержуваного з природного газу чи нафти) під високим тиском і високою температурою з утворенням аміаку (NH_3). великомасштабне виробництво азотних добрив (сечовини)» [20, 21].

Щодо біологічної фіксації азоту, як відомо рослини не здатні фіксувати атмосферний азот, тому в цьому їм допомагає *Azotobacter*. Фіксація азоту біологічними засобами є високоефективним та стійким методом в сільському господарстві, спрямованим на підтримку росту та розвитку рослин та зниження потреби у хімічних добривах [22, 23].

Azotobacter допомагає покращити швидкість росту культур. Присутність цих організмів тісно пов'язана з фізико-хімічними речовинами. Також, вони впливають на якість рослин поглинати поживні речовини [24].

Біологічні добрива, як ключові складові органічного землеробства, грають важливу роль у підтримці тривалої родючості та стійкості ґрунту. Вони виконують цю роль шляхом фіксації атмосферного азоту, мобілізації фіксованих макро- та мікроелементів, а також трансформації нерозчинного фосфору в ґрунті в форми, доступні для рослин. Це досягається за рахунок підвищення ефективності та доступності цих елементів для рослин, сприяючи тим самим покращенню якості та стану ґрунтового середовища [25, 26].

Азот є широко використовується у вигляді азотних добрив для підвищення врожайності ключових для сільського господарства культур. Як цікава альтернатива для уменшення або відмови від застосування азотних добрив розглядається використання бактерій, які сприяють росту рослин і

можуть покращувати ріст і врожайність різних видів рослин, деякі з яких мають важливе значення для сільськогосподарської та екологічної сфер. *Azotobacter* є несимбіотичними гетеротрофними бактеріями, які здатні в середньому фіксувати 20 кг азоту на гектар на рік. Бактеризація сприяє покращенню росту рослин і збільшенню вмісту азоту в ґрунті шляхом фіксації азоту за рахунок використання вуглецю в їхньому метаболізмі.

Атмосферний азот використовується бактеріями для створення клітинного білка. Після загибелі клітин *Azotobacter* цей білок розкладається в ґрунті, що сприяє доступності азоту для культурних рослин.

У подібних обставинах використання біодобрив може визначатися як найбільш перспективний шлях для підвищення родючості ґрунту. З урахуванням їх економічної вигоди та безпечності для навколишнього середовища, біодобрива можуть бути впроваджені в селянське господарство з метою покращення врожаю. Також важливо відзначити, що мікробні продукти розглядаються як безпечні, самостійно відтворювані та цільовані, що ставить їх в ряд ключових компонентів комплексного управління поживними речовинами для забезпечення стійкості ґрунту [27].

Азотобактерії вважаються корисними мікроорганізмами для використання як біоінокулянти, а також для дослідження процесу фіксації азоту. Їх швидкість росту та ефективна здатність фіксувати значні обсяги азоту робить їх об'єктом підвищеного інтересу. *Azotobacter* знає свою здатність перетворювати атмосферний азот на аміак, який у свій час може бути поглинутим та використаним рослинами [28, 29].

1.3 *Azotobacter* як індикатор стану ґрунтів

Сталість кругообігу речовин та енергії в агроєкосистемах є запорукою їх стійкості, тому дослідження мікроорганізмів циклу азоту є надзвичайно

важливим та інформативним. Однією з традиційних груп до яких прикута увага дослідників є мікроорганізми. Біоіндикація з використанням організмів, які фіксують азот, дозволяє оцінювати рівень азоту і його сполук у природних екосистемах. Вони поповнюють азотний фонд ґрунту перетворюючи молекулярний азот атмосфери у хімічні сполуки азоту.

Продуктивність мікробних, грибкових та рослинних спільнот залежить від доступності азоту, оскільки ці спільноти ведуть конкуренцію за здобуття органічних та неорганічних джерел азоту.

Мікроорганізми та гриби в ґрунті можуть конкурувати за органічні рештки та інші джерела азоту. Деякі мікроорганізми мають здатність фіксувати атмосферний азот, що є важливим внеском у цикл азоту. Однак рослини також залежать від азоту для свого росту та розвитку, і вони конкурують за цей ресурс з мікробами та грибами.

Регулювання доступності азоту в ґрунті може впливати на структуру та функції цих спільнот. Збалансована доступність азоту може сприяти симбіотичним взаємодіям, таким як мікориза, де гриби сприяють поглибленню кореневої системи рослин та обміну поживними речовинами. З іншого боку, надмір азоту може призвести до дисбалансу та негативно вплинути на біорізноманіття.

Azotobacter - це родина аеробних бактерій, які належать до грамнегативних вільноживучих мікроорганізмів, які здатні фіксувати азот. Вони мають овальну або сферичну форму, утворюють товстостінні цисти - сплячі клітини, які виживають у непридатних умовах навколишнього середовища. Виділено приблизно шість видів роду *Azotobacter*, деякі з яких можуть бути рухливими через перитрихальними джгутиками, тоді як інші залишаються нерухомими [28].

Основою для зацікавленості цими мікроорганізмами є їхня здатність виробляти екзополісахариди (EPS), які володіють потенційною цінністю через широкий спектр можливого комерційного використання [30, 31].

Екополісахарити мають вирішальну функцію для існування азотобактеру в навколишньому середовищі, допомагають пережити періоди негативного зовнішнього впливу. Завдяки їм формується циста, яка грає роль консерванта, для збереження вологи та анаеробних умов [32].

Щодо джерел вуглецю та енергії, бактерії цього роду позитивно реагують на наявність спиртів, вуглеводів і органічних кислот. Вони використовують ці речовини для забезпечення своєї енергетичної та вуглецевої поживи.

Джерелами азоту для азотобактерів є, окрім молекулярного азоту, солі амонію, нітрити, нітрати, амінокислоти та сечовина. Ця гнучкість у виборі джерел азоту свідчить про адаптивність бактерій роду *Azotobacter* до різноманітних умов життя та ресурсів навколишнього середовища.

На сьогоднішній день у садовому господарстві використання *Azotobacter* може призводити до поліпшення біологічної активності ґрунту та сприяти збільшенню врожайності. Багато науковців продемонстрували, що *Azotobacter* може значно поліпшити ріст, біомасу та продуктивність бульбових рослин, що свідчить про його важливий внесок у селянське господарство. Підвищений рівень свинцю в рослинах, вирощених в сільському господарстві, несе серйозні проблеми, що впливають як на продуктивність сільськогосподарських культур, так і на здоров'я людини. Висока концентрація свинцю в ґрунті викликає фітотоксичні ефекти, що призводять до порушення проникності клітинної мембрани та зниження швидкості фотосинтезу, що в свою чергу веде до зниження росту та продуктивності рослин. Додатково, процес вилуговування та адсорбції фосфору в тропічному вітрилі призводить до низької ефективності використання азоту, а також до зниження вмісту азоту (N) і фосфору (P) у ґрунті. У цьому контексті, *Azotobacter* виявляється особливо корисним, оскільки він природно утворює капсули, що містять екзополісахариди (EPS), які вважаються ключовими елементами в механізмах стійкості до металів [32, 33].

Фінськими вчені спостерігали за появою *Azotobacter* в місцевих ґрунтах та його залежність від водневого показника (pH) та фосфору: «*Azotobacter* не виявлено в ґрунтах із значенням водневого показника нижче 5,8. На основі результатів зроблено висновок, що *Azotobacter*, ймовірно, присутній у великій кількості наших менш кислих ґрунтів, хоча, як правило, у дуже низькій кількості. Фосфорний статус ґрунту мав певний вплив на розвиток інокульованих *Azotobacter* у ґрунтових бляшках. Під час тестування ґрунту потреба *Azotobacter* у фосфорі виявилася помітно вищою, ніж у культурних рослин загалом. Передбачалося, що в деяких випадках цей факт можна пояснити не тільки потребою бактерій у фосфорі, але і високою чутливістю організму до впливу ґрунтового алюмінію і заліза, що перешкоджають фосфати.» [34, 35]

Azotobacter чутливий до низького рівня водневого показника (pH), високого вмісту солей та температури. Цей вид бактерій позитивно впливає на зріст і врожайність сільськогосподарських культур, забезпечуючи біосинтез біологічно активних речовин, стимулюючи ризосферні мікроорганізми, та виробляючи фітопатогенні інгібітори. Це призводить до змін у поглибленні поживних речовин і, у кінцевому результаті, посилення біологічної фіксації азоту. Важливо відзначити, що, порівняно з хімічними добривами, які є високими за вартістю та негативно впливають на ґрунтове здоров'я та мікробні популяції, використання *Azotobacter* може бути більш ефективним та екологічно безпечним рішенням.

Бактерії, що фіксують азот здатні поліпшити продуктивність сільськогосподарський рослин в умовах засолення на недостатнього живлення ґрунтів. Обробка садів *Azotobacter* є ефективним методом для поліпшення продуктивності рослин у вирішенні проблем засолення та недостатнього рівня поживних речовин. Інокуляція рослин *Azotobacter* може привезти до позитивних змін у численних параметрах росту та забезпечити захисний ефект як при низькому, так і при сильному засоленні. Ці переваги особливо виражені в умовах зниженого рівня поживних речовин, але менш

помітні в оптимальних умовах азотного живлення. В такий спосіб було встановлено, що ефективність *Azotobacter* тісно пов'язана з поживним статусом ризосфери рослин [34, 36].

Стійкість до пестицидів широко поширена серед бактерій роду *Azotobacter*. При збільшенні концентрації пестицидів виявляється тенденція до зменшення рівня резистентності цих бактерій [37].

Здатність *Azotobacter* фіксувати азот та збагачувати їм ґрунт використовується для виготовлення бактеріальних добрив, в основі яких – життєдіяльність мікроорганізмів. На ефективність таких добрив впливає ряд факторів: поєднання бактеріальних добрив з мінеральними та органічними, сприятливість ґрунтових умов та якість добрив, адже бактерії в препараті повинні бути активнішими та більш стійкими ніж ґрунтові.

Мікроорганізмами, що є необхідною складовою агроценозу, володіють потужним ферментним апаратом, який дозволяє мікрофлорі підтримувати в ґрунті різноманітні функції. Завдяки внесенню як мінеральних, так і органічних добрив, рослини містять достатню кількість живильних речовин. Однак добрива може впливати не тільки на посилення, але й на пригнічення мікробіологічних процесів, зокрема, азотфіксації [38].

Azotobacter широко визнано як ключовий інокулянт, використовуваний у складі біодобрив для відновлення рівня азоту в обробленому ґрунті. Цей мікроорганізм відрізняється високим виробництвом EPS, що грає важливу роль у його функціях.

Бактерії *Azotobacter* гарантують доступність різних поживних речовин, таких як вуглець, азот, фосфор і сірка, через активізацію мінералізації органічних залишків у ґрунті та уникнення поглинання важких металів. Цей мікроорганізм може стати важливою альтернативою хімічним добривам, оскільки забезпечує азот у формі аміаку, нітратів та амінокислот, уникаючи ситуації передозування, яке часто трапляється при використанні неорганічних джерел азоту, наприклад, сечовини. Також важливо відзначити, що *Azotobacter* допомагає зберігати ріст рослин та врожайність навіть в

умовах ґрунту з низьким вмістом фосфатів, сприяючи поглибленню макро- та мікроелементів, що покращує ефективність корневих ексудатів рослин.

Внесення комбінації біодобрив із вмістом хімічних добрив значною мірою впливає на розвиток сільськогосподарських культур в порівнянні з внесенням лише хімічних добрив. «Подібним чином застосування *Azotobacter* біофосфату та органічних добрив із половинною дозою хімічних добрив підвищує економічну врожайність сільськогосподарських культур.» [39].

Види *Azotobacter* є вельми ефективними у розкладанні трьох різноманітних пестицидів, таких як хлорпірифос, пендиметалін і карбендазим, демонструючи розклад на рівні від 90% до 100%. Більше того, *Azotobacter* виявляють стійкість до різних пестицидів і демонструють здатність росту в умовах стресу. Таким чином, використання *Azotobacter* має великий потенціал в органічному землеробстві для поліпшення вмісту поживних речовин у ґрунті і видалення небезпечних хімікатів з харчового ланцюга. Це ясно свідчить про те, що *Azotobacter* не лише природний резидент, але й ефективний у відновленні екосистем природнім шляхом [39].

Азот, здавалося б, простий хімічний елемент, відіграє важливу роль у визначенні стану та якості ґрунту. Вивчення рівня та форм азоту у ґрунті відкриває перед вченими і фермерами величезний обсяг інформації про родючість, біорізноманіття та екосистемне здоров'я.

Рівень азоту безпосередньо впливає на родючість ґрунту, оскільки рослини використовують його для синтезу білків та інших важливих речовин. Недостатність або надмір азоту може призводити до проблем у рості та розвитку рослин, що має прямий вплив на врожайність.

Екологічна стійкість ґрунту також залежить від його здатності підтримувати біорізноманіття. Різноманіття мікроорганізмів, які взаємодіють з азотом, слугує важливим показником здоров'я ґрунту та його екосистеми.

Вивчення *Azotobacter* дає інформацію про стан екосистеми ґрунту. Зміни в популяціях цих бактерій можуть вказувати на зміни в структурі та функціонуванні ґрунтової екосистеми. Природні процеси, пов'язані з

активністю *Azotobacter*, можуть бути використані як показники здоров'я ґрунту та його здатності підтримувати рослини та інші організми. *Azotobacter* має потенційну користь у сільському господарстві, де вони можуть бути використані для підвищення родючості ґрунту та покращення врожайності. Дослідження їхнього впливу на ріст рослин та збереження азоту в ґрунті може визначити оптимальні стратегії використання *Azotobacter* у землеробстві [40].

Вивчення *Azotobacter* як біоіндикатора стану ґрунту відкриває нові перспективи для розуміння взаємодії між мікроорганізмами та навколишнім середовищем. Продовження досліджень у цьому напрямку допомагає краще зрозуміти природні процеси, визначити стратегії для сталого використання ґрунтів та підтримати екосистему рівновагу, що дозволяє не тільки зрозуміти природні процеси в ґрунті, але й розробляти стратегії для сталого землеробства, ефективного використання ресурсів та збереження навколишнього середовища. Саме тому цей біоіндикатор так приваблює вчених з усього світу, адже він має специфічну фізіологію та чутливий до токсичних речовин.

Вчені з Нової Шотландії провели дослід, суть якого полягала в дослідженні взаємозв'язку між динамікою фосфору в ґрунті і біологічною фіксацією азоту на молочних фермах в Онтаріо та Новій Шотландії. В результаті вони отримали: «...якщо рівень фосфору у ґрунтовому тесті надзвичайно низький, ріст культур і фіксація азоту будуть суттєво знижені. Однак при помірно низьких ґрунтових тестах фосфору кормові бобові можуть працювати досить добре. Незважаючи на те, що низький рівень фосфору в ґрунті потенційно може обмежити фіксацію азоту, це дослідження показує, що навіть тестування ґрунту з низьким рівнем фосфору може сприяти хорошій врожайності корму на органічних фермах.» [Шеллі Юрлінк, 41, с. 2].

На острові Буру в Індонезії були знайдені золоті відходи, які містять значну кількість ртуті, але недостатньо вуглецю та поживних речовин для

підтримки росту рослин. Відновлення рослинності в таких умовах потребує певної обробки ґрунту для забезпечення його придатності для росту рослин. Метою експериментів було вивчення впливу *Azotobacter*, які сприяють росту рослин, і органічних речовин на виживання бактерій і ріст арахісу, вирощеного в шахтних хвостах. Результати показали, що «інокуляція *Azotobacter* сприяла збільшенню популяції *Azotobacter* у хвостах арахісу наприкінці вегетативного росту. Загальний вміст азоту в ґрунті зменшувався зі збільшенням рівня органічного вуглецю. Однак інокуляція *Azotobacter* або зміни вмісту добрив не вплинули на фіксацію азоту та ріст арахісу. Ці експерименти дали важливу інформацію про те, що інокуляція *Azotobacter* підтримує ріст арахісу у забруднених ртуттю хвостах шахт.» [42].

Азот та його сполуки є настільки цікавим та важливим предметом для вивчення, що його почали вивчати не тільки на нашій планеті. В 2015 році вийшла стаття в якій йшла мова про дослідження сполук азота знайдених на Марсі. Досліди для цієї статті проводились міжнародним науковим колективом, який відзначив що «Дослідження аналізу зразків на Марсі на марсоході Curiosity Марсіанської наукової лабораторії виявило окислені сполуки, що містять азот, під час піролізу зачерпнутих еолових відкладень і пробурених осадових відкладень у кратері Гейл. Загальні концентрації N коливалися від 20 до 250 нмоль N. Виявлення природного марсіанського азоту в матеріалах поверхні Марса має важливі наслідки для придатності для проживання там, зокрема, для потенційної еволюції циклу азоту в якийсь момент марсіанської історії. Виявлення нітратів як у дрібних фракціях, що переносяться вітром, так і в аргіліті, ймовірно, є результатом фіксації N_2 до нітратів, утвореного тепловим ударом від удару або вулканічної блискавки на стародавньому Марсі. Фіксований азот міг сприяти розвитку примітивного циклу азоту на поверхні стародавнього Марса, потенційно забезпечуючи біохімічно доступне джерело азоту.» [Дженніфер Сі Стерн, 43].

Виявлення азотних сполук, таких як азотні оксиди чи аміак, на поверхні Марса свідчить про наявність хімічних процесів у його атмосфері та

грунті. Це важливе свідчення геохімічного еволюційного процесу планети, який відбувався впродовж багатьох мільйонів років. Азот, як хімічний елемент, може бути ключовою складовою для формування складних органічних сполук та молекул, які потім можуть бути пов'язані з можливими процесами життєутворення.

Однією з можливих інтерпретацій знахідок може бути те, що азот в Марсі може бути асоційований із мікроорганізмами або бути в результаті хімічних реакцій, що сприяли розкладанню органічних матеріалів. Це важливе, оскільки азот є критично важливим елементом для біологічних систем на Землі, і його присутність на Марсі може вказувати на потенційні умови для існування мікробного життя або на існування його у минулому.

Важливим етапом дослідження азоту на Марсі є розширення можливостей для майбутніх місій та наукових досліджень. Можливість подальшого вивчення азотних сполук і їхніх властивостей може визначити перспективи для пошуку слідів органічного життя, а також створити нові можливості для вивчення резервуарів хімічних речовин на Марсі [43].

Тож, наявність достатньої чисельності бактерій роду *Azotobacter* в ґрунтах є одним з головних факторів для визначення ефективності фіксації атмосферного азоту, мобілізації поживних речовин та забезпечення агроєкосистеми необхідними елементами для розвитку рослин. Ці бактерії виконують ключову роль у підтримці екологічно стійкого та стабільного ґрунтового середовища, сприяючи збалансованій екосистемі та високоякісному сільському господарству.

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Матеріали досліджень

Матеріалом для вивчення слугують зразки ґрунту у шарі 0-30 см, зібрані під плодовими деревами у СФГ «Відродження», що розташоване в Дніпровському районі Дніпропетровської області. Підприємство спеціалізується на вирощуванні зерняткових і кісточкових фруктових дерев. Відстань від міста Дніпро – 45 км. Площа господарства складає 190 га; площа досліджуваної ділянки – 2 га.

Проби були взяті під культурами Черешня, Абрикос, Персик, Алича, Слива, Нектарин та контрольна точка (староорні ґрунти) (рис.2.1).



Рисунок 2.1 – Відбір проб ґрунту на контрольній точці

2.1.1 Еколого-біологічні особливості культури черешня

Черешня дуже популярна культура в країнах з помірним кліматом. У її складі містяться органічні кислоти, цукор, суха речовина, вітамін С та пектинові речовини. Корені черешні можуть бути різної форми та мати різну загущеність. За морфологічними ознаками її коренева система майже не відрізняється від інших листопадних плодкових культур. Основна маса коренів досягає глибини до 0,6 м. В залежності від ґрунтових умов та особливості підщепи формується активність росту кореневої системи. В основному сорти черешні починають плодоносити на 5й рік, рідше – раніше.

Черешня дуже чутлива до вологості ґрунту, але менше ніж слива та алича. Недостатнє зволоження супроводжується пригніченням росту пагонів та плодів, зниженням маси та якості врожаю. Перезволоження може привести до розтріскування плодів при досяганні, або навіть до відмирання дерев. Саме тому при виборі місця для посадки цієї культури варто враховувати рівень залягання ґрунтових вод – не ближче 2,5-3 м; винятком є рухливі по горизонталі підземні води, глибина їх залягання може становити 1,5 – 2 м [44].

Молоді сади (до трьох років) утримують під чорним паром. Для запобігання ерозії на пологих схилах у міжряддях створюють буферні смуги, використовуючи багаторічні злакові трави. Після встановлення насаджень кожне друге-четверте між рядами підтримується за допомогою дерново-перегнійної системи. Посів сидератів у вологіші роки покращує поживний режим ґрунту та збільшує врожайність насадження [45].

Оброблюють ґрунт культиваторами, фрезами та садовими дисковими боронами. В перші 5 років насажденн забезпечені елементами живлення, при умові належного передсадивного окультурення ґрунту. У наступних роках плодіві насадження забезпечують додаткове удобрення, враховуючи результати обґрунтованої та листкової діагностики. При цьому враховуються

рівні K_2O і P_2O_5 у підставі, а також вміст калію і азоту в листках. Для отримання екологічно чистих плодів перспективним використанням системи органічного удобрення [46].

2.1.2 Еколого-біологічні особливості культури абрикос

Абрикос – культура, яка походить з Середньої Азії. В наші дні в трійку країн з найбільшим врожаєм на рік є США, Туреччина та Іспанія. Плоди абрикосу (рис. 2.2) мають дуже багатий вміст поживних речовин (цукри, органічні кислоти, пектинові речовини, фітостероїли, амінокислоти, вітаміни С, В₁, В₂, В₃, та ін.), з них виготовляють курагу, урюк, різні десерти та лікери, а їх насіння використовують у фармакології через вміст амігдалину.



Рисунок 2.2 – Плоди плодової культури Абрикос

Система коренів абрикоса має густе розгалуження, а стрижневий корінь не завжди виражено чітко, особливо на менш родючих підставах, де його розвиток обмежений. Приблизно 70% коренів мають горизонтальну орієнтацію і зазвичай розташовуються на глибині 10–60 см. Радіус горизонтальної проекції кореневої системи становить в 1,5–3 рази більше, ніж радіус проекції крони, проте основна маса коренів знаходиться під кроною рослини. Вертикальні корені можуть проникати на глибину до 3–5 метрів [44].

Навесні ріст кореневої системи розпочинається при температурі приблизно 5-6 °С, а при температурі вище ніж 20 °С – вповільнюється. При паровій та паро-сидеральних методах утримання ґрунту у молодих насаджень спостерігається активний ріст та утворення всисних коренів.

Абрикос любить сухе та спекотне літо, та зиму без різких перепадів температур. В період вегетації оптимальна температура – 22-24 °С. Ця культура є посухостійкою, але нерівномірних розподіл опадів упродовж вегетації може привести до грибних захворювань. Важливим фактором є світлолюбність, адже при затіненні може відбуватися відмирання плодових утворень. Він дуже стійко проявляє себе у засолених та лужних ґрунтах, але оптимальне водневий показник становить від 7,5 до 8,2 [45].

У молодих садах пристовбурові смуги утримують під чорним паром, розпушуючи ґрунт на глибину до 10 см. Перші три роки після висадки дерев застосовують парову систему; у віці від трьох років – дерново-перегнійну, в цьому випадку застосовують органічні добрива. У молодих садах добрива не вносять, але при необхідності підживлюють азотом для активізації росту насаджень [46].

Під час цього періоду використовується парова система обробки, а по закінченні трьох років переходять до дерново-перегнійної системи, при цьому застосовують органічні добрива для поліпшення ґрунтового складу. У молодих садах перші роки є критичними для розвитку рослин, тому добрива

не вносяться, проте, при необхідності, здійснюється підживлення азотом з метою активізації росту насаджень.

Такий підхід до обробки та добрив у молодих садах сприяє створенню оптимального середовища для здоров'я і розвитку дерев, забезпечуючи їм необхідні поживні речовини та оптимальні умови для росту, що впливає на врожайність та якість плодів.

2.1.3 Еколого-біологічні особливості культур персик та нектарин

Вважається що батьківщиною персику є Китай, звідки він і потрапив до Ірану, Закавказзя та Середньої Азії. До Європи його привезли з Ірану. Основні виробники плодів: США, Китай, Італія, Франція, Туреччина та Японія. Однією з різноманітностей персика є нектарин, який має схожий склад плодів та догляд за культурою.

Плоди мають харчове та лікувальне призначення, адже в них містяться сухі речовини, цукри, лимонна і яблучна кислоти, пектинові речовини, амінокислоти, аскорбінові кислоти, лейкоантоціани, калій, фосфор, магній, кальцій, залізо, вітаміни групи А, В₁, В₂, Е, Р та РР; склад насіння: олії, білки та глікозид амігдалину (використовується в фармакології) [44].

Розвиток кореневої системи у щеплених дерев залежать від виду підщепи та властивостей ґрунту. Діаметр коренів персика досягає 12 мм, а приріст осьових ростових коренів протягом вегетаційного періоду зазвичай не перевищує 6-10 см при трьох рівнях розгалуження. У сіянців коренева система персика має стрижневу структуру, проте головний корінь швидко відмирає, що значно активізує процес розгалуження. Горизонтальні корені розташовані на відстані 3-3,8 м від стовбура; вертикальні на глибині 2-2,5 метра; основна частина коренів - від 5-20 до 60-80 см.

Культури персик та нектарин люблять теплий помірний клімат. Коренева система здатна витримувати температуру ґрунту до мінус 12 °С. Для нормального розвитку, у період вегетації, середньодобова температура має бути від 16 до 20 °С. Утворенню смачних добре забарвлених плодів сприяє інтенсивне освітлення. При затінненні можуть порушуватись процеси росту та формування [45].

Персики виявляють високу чутливість до рівня аерації ґрунтів, що сприяє отриманню великого врожаю та високоякісних плодів добре аерованих ґрунтах з нейтральною реакцією. Ці дерева мають вищі вимоги до ґрунтового азоту, ніж інші плодові культури. У порівнянні з іншими кісточковими деревами, персики виявляють підвищену потребу в калії, але їхні потреби у фосфорі та інші елементи живлення залишаються на однаковому рівні [46].

Щодо внесення добрив, ситуація аналогічна абрикосу.

2.1.4 Еколого-біологічні особливості культур слива та алича

Плоди сливи представляють собою багатий джерело корисних речовин, сприяючи забезпеченню організму необхідними елементами. В їх склад входять сухі речовини, цукри, органічні кислоти, пектинові речовини, вітамін С, Р-активні катехіни, дубильні речовини, калій, фосфор, магній, кальцій, натрій та залізо [44].

Особливе місце серед видів слив посідає алича, чия складова частка схожа на склад звичайної сливи. Плоди аличі також містять сухі речовини, цукри, органічні кислоти, пектинові речовини та вітамін С. Варто зазначити наявність лейкоантоціанів та антоціанів, які відповідають за характерний колір плодів та є потужними антиоксидантами [44].

Цей багатий і різноманітний склад плодів сливи та аличі робить їх не лише смачними, але й корисними для здоров'я, сприяючи збалансованому харчуванню та забезпеченню організму необхідними поживними речовинами.

Плоди цих кісточкових дерев (рис. 2.3) можна споживати як і свіжими, так і робити з них варення, десерти, цукати та напої.

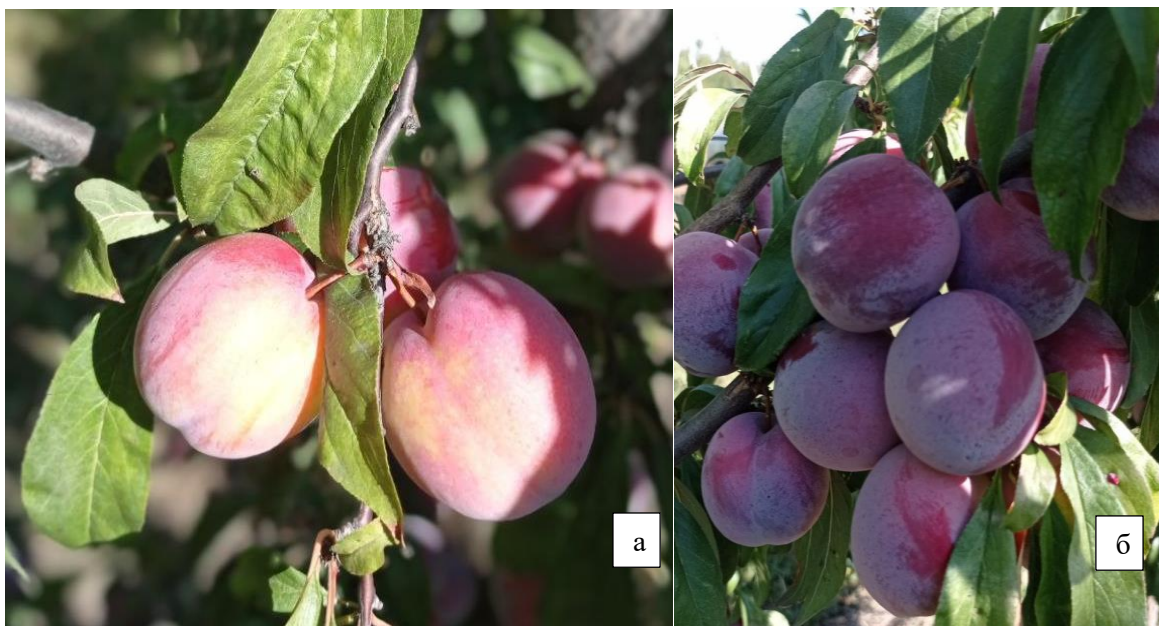


Рисунок 2.3 - Плоди кісточкових культур: сливи (а) та аличі (б)

Їх коренева система витримує температуру ґрунту до мінус 12 °С. Вертикальні корені розмішені на глибині до 2 м і глибше, основна коренева маса до 40 см.

Для утримання ґрунту, в умоваї достатнього зволоження, використовують паро-сидеральну систему утримання міжрядь. Ґрунт утримується під чорним паром та обробляється на глибину 10 см. При таких умовах раз на 3 роки вносять гній по всій площі в якості удобрення [46].

2.2 Характеристика ґрунтів та кліматичні умови

У Дніпропетровській області на чорноземи звичайні повнопрофільні, що «залягають на плоскорівнинних просторах, припадає 48,3% всієї земельної площі, у тому числі на звичайні чорноземи - 42,3%, південні - 5,7%, солонцюваті - 0,3%, на еродовані ґрунти схилів різної крутості і протягу, різних форм і експозицій - 36,6%, у тому числі на слабоеродовані - 27,3%; на середньо- і сильноеродовані — 9,3%. На решті території області розповсюджені лучно-чорноземні, чорноземно-лучні, лучні, лучно-болотні, болотні, засолені, солонцюваті, осолоділі, а також дернові ґрунти, солончаки і солонці.» Ґрунти розподіляються відповідно до законів горизонтальної та вертикальної зональності. Прямуючи з півночі на південь області, чорноземи звичайні малогумусні спочатку переходять у середньоглибокі, далі у малоглибокі, а потім в чорноземи південні. Важливе положення, що глибина гумусованого профілю визначається загальними умовами вологозабезпечення території, чітко виражається у властивостях ґрунтового покриву Дніпропетровської області [47].

Основний ґрунтовий покрив області визначається наявністю різноманітних чорноземів звичайних, що мають різну глибину гумусового шару та механічний склад. Ці чорноземи, спільно з вигідними природно-кліматичними умовами, створюють сприятливе середовище для розвитку інтенсивного сільського господарства. Вони забезпечують плідність та високу продуктивність, що сприяє успішному вирощуванню всіх видів зернових та плодкових культур [48].

Чорноземи різної глибини гумусового шару та різного механічного складу виявляються важливим ресурсом для аграрного сектору області. З їхньою допомогою можливе ефективне землеробство та забезпечення високоякісного продовольчого зерна. Наявність цих ґрунтів створює стійкі передумови для розвитку сільськогосподарського виробництва, що відкриває широкі можливості для різностороннього сільськогосподарського виробництва та забезпечує високий рівень врожайності в області.

Дніпропетровська область розташована у басейні Атлантичного океану, що визначає її кліматичні умови. Клімат цієї території характеризується помірно-континентальним режимом, що проявляється в теплому та сухому літі і не дуже холодній зимі. Сніжний покрив є нестійким, зі значними різницями в термінах його формування та танення в різні роки. Середня тривалість збереження снігового покриву в середньому становить 80 днів. Середня глибина промерзання ґрунтового покриву – 54 см. Найнижча мінімальна температура ґрунту – 16 °С [49].

Згідно з ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 “Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія” район розташування Дніпропетровської області «відноситься до II кліматичного району – Південно-східний (степ). Для нього характерні наступні кліматичні параметри: середня температура повітря в січні – від -2 °С до -6 °С; середня температура повітря в липні – від 21 °С до 23 °С; абсолютний мінімум температури повітря – від -32 °С до -42 °С; абсолютний максимум температури повітря – від 39 °С до 41 °С; кількість опадів за рік – від 400 мм до 500 мм; відносна вологість в липні – менше 65 %; середня швидкість вітру в січні – от 4 м/с до 6 м/с. Однією з особливостей клімату Дніпропетровщини є значні коливання погодних умов з року в рік. Помірно вологі роки змінюються різко посушливими, які нерідко посилюються дією суховіїв. Взагалі клімат характеризується відносно холодною зимою з нестійким сніговим покривом та жарким, посушливим літом. Сучасний клімат Дніпропетровщини, як і України, характеризується як потепління, яке супроводжується деяким збільшенням річної суми опадів.» [48].

Клімат Дніпропетровської області є помірно-континентальний. «У цілому він характеризується відносно прохолодною зимою і спекотним літом. Середня температура повітря за рік по області становить 9,2 – 10,5°С тепла. Середня температура січня (найхолоднішого місяця) становить мінус 2,4 – 3,9°С, середня температура липня (найтеплішого місяця) – плюс 22,1 – 23,5°С. Середня річна кількість опадів становить 525 мм, змінюючись по

території від 453 до 585 мм. Відносна вологість повітря коливається по області від 60 % у теплий період року до 88 % у холодний період року.» [50]

Нижче в таблицях наведені данні про середньодобову температуру повітря (табл. 2.1) та атмосферні опади (табл. 2.2) за останні два роки.

Таблиця 2.1 – Середньодобова температура повітря в Дніпровському районі за 2023 рік

Місяць	Температура повітря по декадам, °С		
	I	II	III
Березень	3,8	5,0	7,4
Квітень	9,3	10,0	11,2
Травень	12,3	18,1	18,0
Червень	19,4	20,3	21,0
Липень	25,0	21,7	22,5
Серпень	24,8	24,1	24,0
Вересень	19,8	17,9	20,3

Таблиця 2.2 – Середньодобова сума опадів в Дніпровському районі за 2023 рік, мм.

Місяць	Сума опадів по декадам, мм		
	I	II	III
Березень	1	23	8
Квітень	18	35	47
Травень	1	0	33
Червень	0	10	20
Липень	1	14	27
Серпень	15	14	0
Вересень	4	10	0

2.3 Методи досліджень

Зразки ґрунту в селянському фермерському господарстві «Відродження» відбирались за загально прийнятими методами [51]. Відстань між точками коливається в межах 150 – 200 м (рис. 2.4). Відстань між основними точками та точкою контролю приблизно 2000 м.



Рисунок 2.4 – Розподіл дослідних ділянок на території СФГ «Відродження»

Для визначення вологості ґрунту був використаний гравіметричний метод [52]. Зразки землі були зважені до та після висушування в спеціальних шафах. Використане обладнання: бюкси для сушіння, ваги.

Потенціометричним методом [53] було визначено водневий показник (рН). Суть методу полягає в вимірюванні різниці між електродом чутливим до іонів водню та електродом порівняння зануреними в розчин ґрунту.

Для виділення чистих культур використовувався метод посіву на тверді ПС, який забезпечує ефективне виділення чистих культур мікроорганізмів, що підвищує його значущість. Отримані чисті культури можуть бути детально ідентифіковані та докладно вивчені щодо їхньої фізіології, біохімії, вироблення фізіологічно активних речовин, впливу на інші мікроорганізми, рослини та інше [54].

Суть методу полягає у розподілі ґрунтової суспензії, що містить мікроорганізми, на поверхню твердого живильного середовища, у нашам випадку випадку агару. Клітини, які потрапляють на середовище, формують видимі невідбровеним оком колонії. Під час кількісного обліку припускається, що кожна колонія виникає внаслідок розподілу однієї клітини.

Чисельність ґрунтових мікроорганізмів на агаризованих середовищах визначалась за методом непрямого підрахунку [55].

Стерилізацію середовищ проводили в автоклаві протягом 20 – 30 хв. Після охолодження ПС до температури 30-40 °С, розливали по чашкам Петрі та давали охолонути до повного застигання.

Бактерії, які здійснюють амоніфікацію, були визначені на м'ясопептонному агарі (МПА), спороутворюючі бактерії – також на МПА, а ті, що використовують мінеральний азот – на крохмало-аміачному агарі (КАА). Оліготрофні мікроорганізми – на голодному агарі (ГА) та на розчині МПА (R). Цей набір середовищ дозволив детально проаналізувати різноманітні мікробні групи та їхню активність в досліджуваному матеріалі [55, 56].

Для виявлення наявності азотобактерій у ґрунтах був використаний метод грудочок ґрунту. Зразок ґрунту, зважений перед використанням, насичували стерильною водопровідною водою до отримання пастоподібної структури. Застосовуючи спеціальну голку, ґрунт розкладали на середовище Ешбі, додаючи 25 грудочок у кожену чашку Петрі. Кожний зразок був представлений чотирма чашками Петрі. Чашки зберігались в термостаті протягом декількох днів, після чого проводився підрахунок всіх грудочок, на які обросли слизькі колонії, що свідчило про присутність азотобактерій в досліджуваному ґрунті [54, 57].

Для обробки даних використовували Excel.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Умови, в яких процвітає життя для бактерій роду *Azotobacter*, визначаються рядом особливостей, спрямованих на оптимальний їхній розвиток. Температурний режим для ефективного функціонування цих бактерій визначається оптимальною температурою розвитку, яка становить 28°C, та мінімальною температурою у межах 9–5 °С. При нагріванні протягом 30 хвилин при температурі 45–50 °С вони втрачають життєздатність [58].

Умови аеробного середовища є важливим фактором для бактерій роду *Azotobacter*, які виявляють високий рівень аеробної активності.

Таблиця 3.1 – Сезонна динаміка розподілу *Azotobacter* під агроценозами плодкових дерев

Агроценоз	Частота зустрічальності, %				Середня частота зустрічальності, %
	Квітень	Червень	Серпень	Жовтень	
Контроль	84	88	100	92	91
Черешня	76	60	100	100	84
Абрикос	76	100	100	92	92
Персик	60	40	96	100	74
Алича	80	28	80	56	61
Слива	12	8	80	60	40
Нектарин	4	16	92	100	53

За методом підрахунку оброслих грудочок ґрунту (табл. 3.1) нами була визначена чисельність бактерій роду *Azotobacter* на середовищі Ешбі (рис. 3.1) під агроценозами вибраними для дослідження.

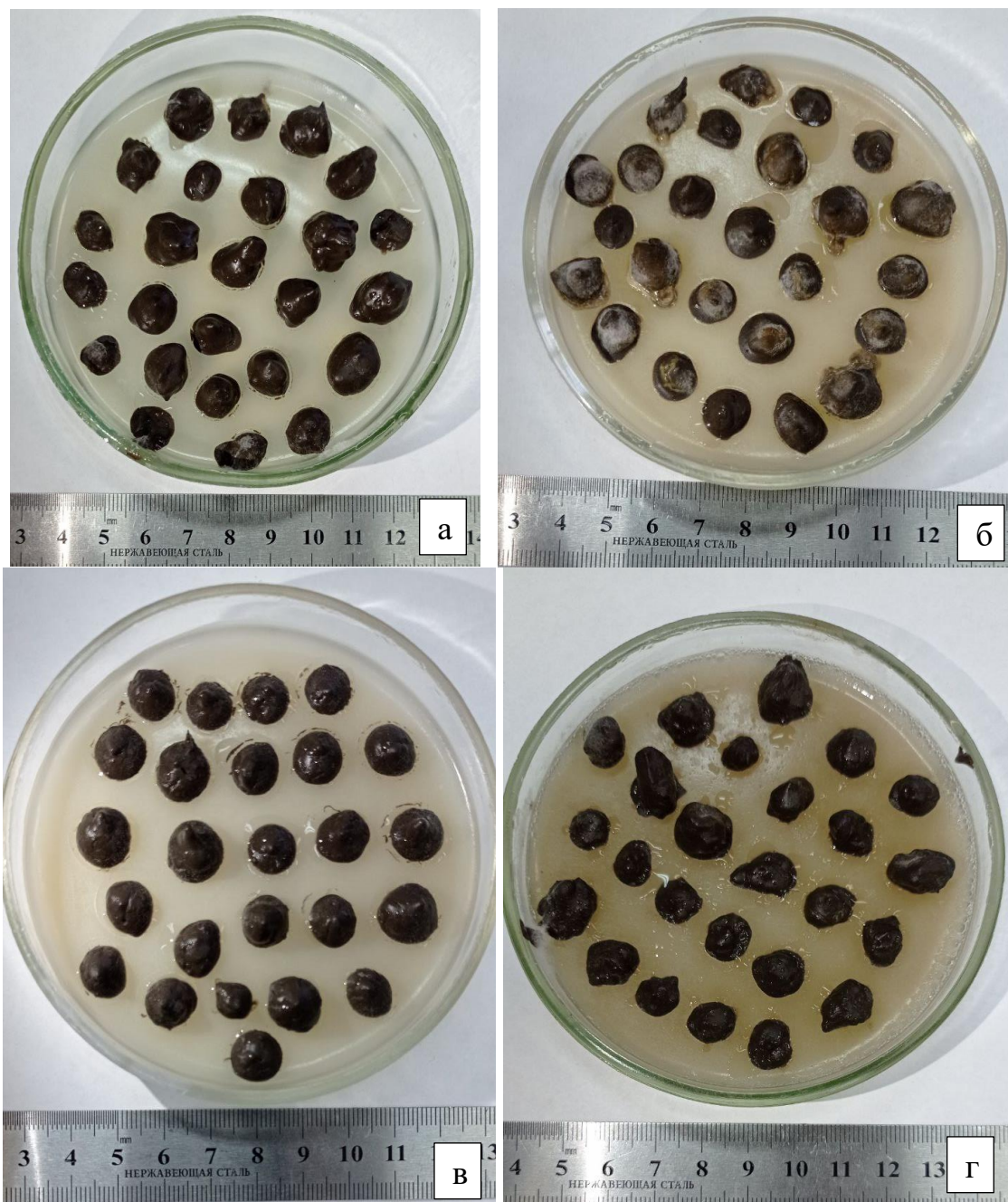


Рисунок 3.1 – грудочки ґрунту з різних агроценозів середовищі Ешбі: слива (а), алича (б), абрикос (в), староорне поле (г)

Фізіологічний аспект існування *Azotobacter* також пов'язаний з реакцією на рівень кислотності у навколишньому середовищі. Оптимальний

рівень водневого показника для азотобактерів становить 7,2–7,4, а діапазон, в якому вони можуть існувати, варіюється від 5,8 до 10. Тривалий період життя азотобактерій забезпечується їхньою здатністю функціонувати в широкому діапазоні реакції середовища [58]. Нами був виявлений водневий показник усіх проб ґрунту взятих для вивчення, результати наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Значення водневого показника

Агрозеноз	Березень	Вересень
Контроль	7,094	7,084
Черешня	6,902	6,920
Абрикос	7,319	7,360
Персик	6,739	6,727
Алича	6,650	6,638
Слива	6,769	6,788
Нектарин	6,945	6,783

Під час вегетації, догляду, внесення добрив та інших заходів водневий показник досліджуваного горизонту дещо відхилявся. В кінці вегетації рівень водневого показника знизився під контрольною точкою на 0,14%, під персиком та аличею на 0,18%, під нектарином на 2,33%, збільшився - під черешнею на 0,26%, під абрикосом на 0,56% та під сливою на 0,28%. В середньому по показникам підвищення становить 0,24%.

Ідеальні умови інснування за водневим показником можна спостерігати під культурою плодових дерев - абрикос. За порівняльним аналізом встановлено, що водневого показника ґрунту усіх показників принципово не впливав на чисельність *Azotobacter*, адже вварюється в межах норми.

В контрольній точці староорного шару ґрунту в серпні з 100% частотою можна зустріти *Azotobacter*, коли середня частота зустрічальності складає 91%. Водневий показник для всіх проб ґрунту вимірювався на

початку та в кінці вегетації, в контрольній точці він близький до оптимального значення.

Зразок ґрунту з-під черешні має розподіл бактерій роду *Azotobacter* в межах від 60% до 100%, серед яких можна побачити, що на квітень та червень частота зустрічальності бактерій менша, тоді як в серпні та жовтні зустріти *Azotobacter* можна з 100% вірогідністю. Рівень водневого показника в ґрунтах черешні входить в діапазон існування бактерій роду *Azotobacter*.

В ґрунті під абрикосовими деревами в період червня та серпня є 100% частота зустрічальності бактерій, при середній частоті з квітня по жовтень в 92%. Ґрунти абрикосу є єдиними за водневими показниками зі всіх зразків ґрунту, що знаходяться в оптимальних значеннях.

Алича має ґрунти в яких максимальна частота зустрічальності бактерій роду *Azotobacter* є в межах 80% (квітень та серпень), а мінімальна в червні – 28%. Крім цього алича серед інших зразків ґрунту має найнижчий рН – 6,638, що входить в діапазон існування *Azotobacter*.

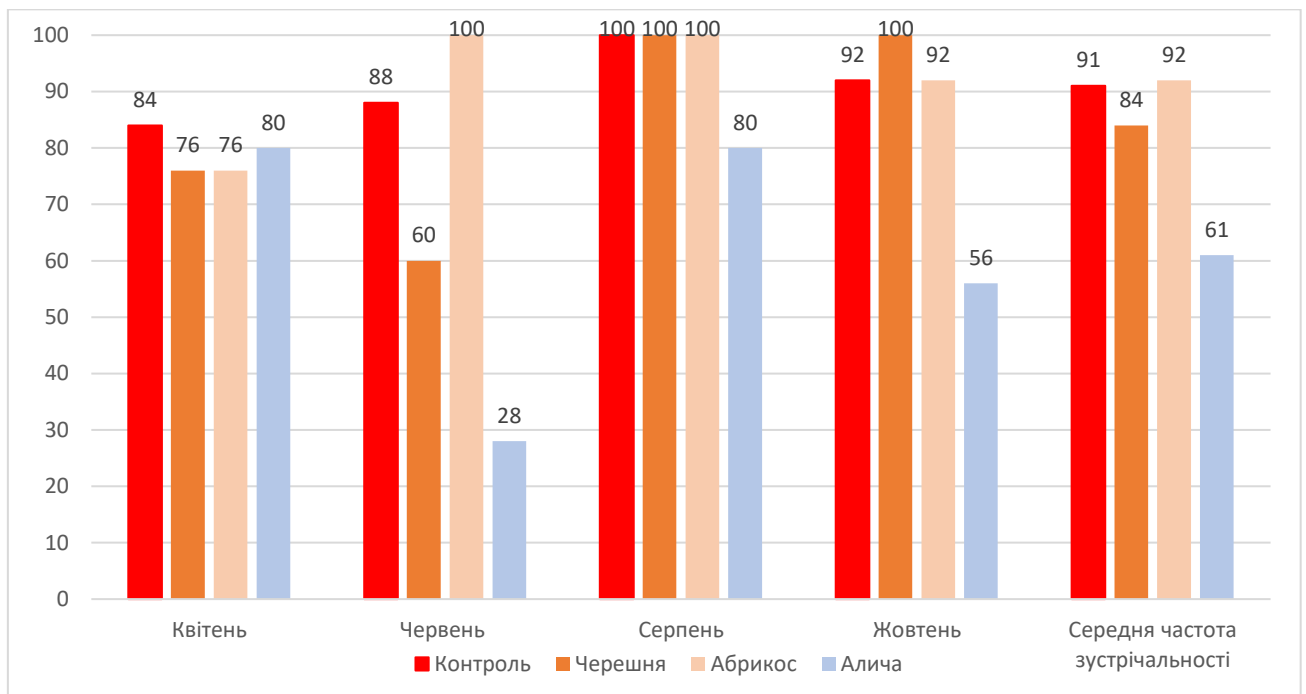


Рисунок 3.2 – Динаміка розподілу чисельності бактерій роду *Azotobacter* під культурами черешня, абрикос та алича в порівнянні з точкою контролю

Під агроценозами персикових дерев максимально зустрічаються бактерії роду *Azotobacter* в жовтні, в серпні це значення трохи нижче, а в квітні та червні в середньому зустріти бактерії *Azotobacter* можна з 50% частотою зустрічальності. Значення водневого показника для ґрунтів персикових дерев є допустимим для існування бактерії *Azotobacter*.

Слива, як і алича, має максимальну частоту зустрічальності бактерій роду *Azotobacter* в ґрунті 80%, а мінімальну – 8%, тобто з червня на серпень частота збільшилась на 72%, а середня з квітня по жовтень 40%. Значення водневого показника в агроценозах ґрунтів сливи входить в діапазон існування *Azotobacter*.

Ґрунти нектарину мають найбільші зміни в динаміці зустрічальності бактерій з частотою від 4% в квітні до 100% в жовтні, середньо отримано частоту зустрічальності в 53%. Як і в інших зразків ґрунту, ґрунти нектарину мають водневий показник в межах норми існування *Azotobacter*.

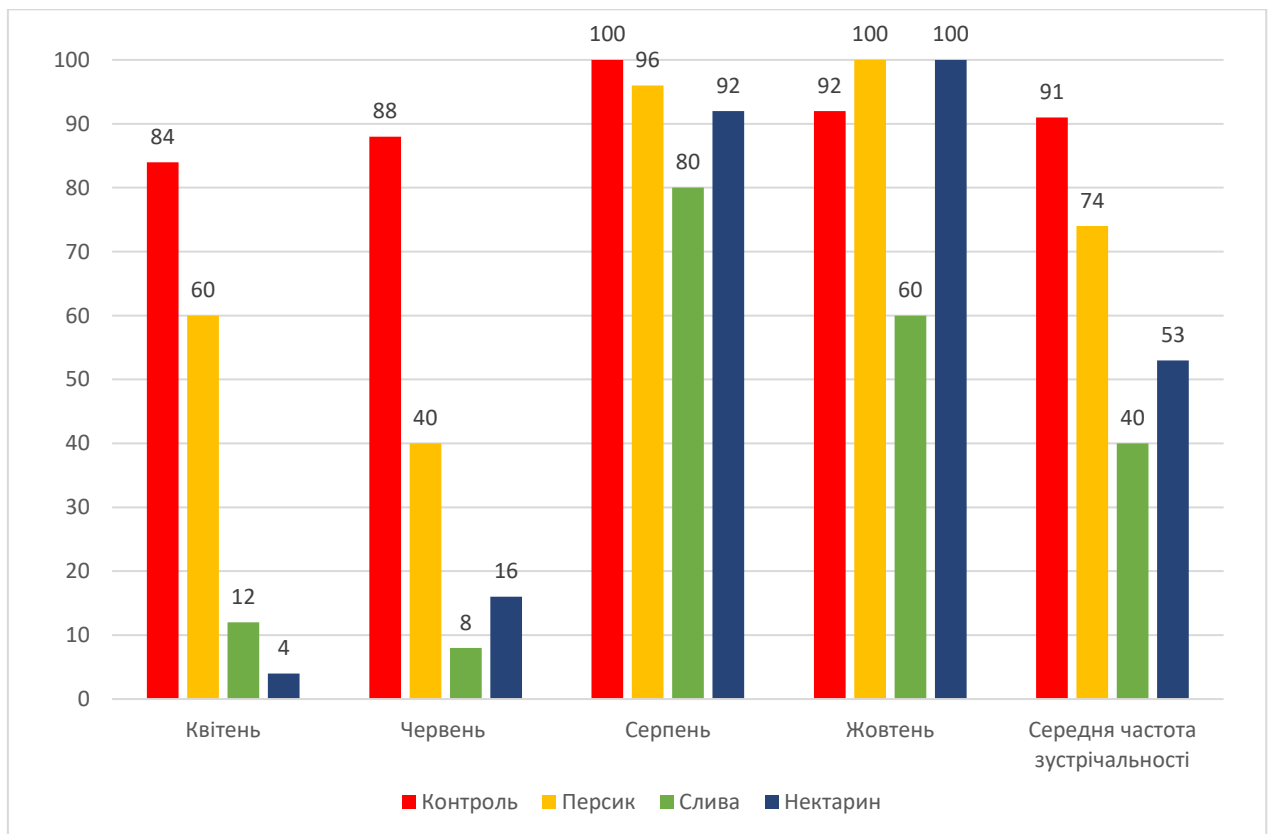


Рисунок 3.3 – Динаміка розподілу чисельності бактерій роду *Azotobacter* під кінтурами персик, слива та нектарин в порівнянні з точкою контролю

Дивлячись на тенденцію розподілу *Azotobacter*, можна побачити що в квітні та червні чисельність складає менше ніж в серпні та жовтні, це може бути пов'язане з впливом високих температур. Найкращі показники спостерігаються під кінтурами черешня, абрикос та алича (рис. 3.2), найменші – під кінтурою слива на нектарин (рис. 3.3).

3.1 Загальні особливості розподілу чисельності ґрунтових мікроорганізмів циклу азоту

Значущими показниками стану мікробіоценозу ґрунту є взаємні відношення чисельності різних еколого-трофічних груп мікроорганізмів. Ці показники визначають такі аспекти, як коефіцієнт мінералізації-іммобілізації, рівень оліготрофності, та інші. Вони вказують на те, у якому напрямку рухаються мікробіологічні процеси в ґрунті — чи відбувається деградація, чи відновлення його родючості.

Амоніфікуючі організми, такі як амоніфікаційні фундаменти бактерій та грибів, забезпечують активну роль у перетворенні органічного азоту в амоній. Цей процес, відомий як амоніфікація, відбувається за участі мікроорганізмів, які розкладають органічний матеріал і звільняють амоній. Цей амоній стає ключовим компонентом для оліготрофів – організмів, адаптованих до умов низької концентрації живильних речовин.

Виявленою складовою є надходження азоту в ґрунт. Про ступінь наявності азоту в ґрунт відповідає амоніфікуючі організми (МПА). Важливим є не тільки загальна чисельність на МПА (таблиця 3.3) та на КАА (табл. 3.4),

а й частково на розчинених середовищах. Розчиненні середовища вказують нам скільки серед амоніфікуючих є олігатрофних, що є менш вимогливими.

Таблиця 3.4 – Сезонна динаміка розподілу амоніфікуючих організмів на поживному м'ясо-пептонному агарі

Агроценоз	Чисельність, КУО/г ґрунту			
	Квітень	Червень	Серпень	Жовтень
Контроль	944	598	637	1129
Черешня	582	295	381	676
Абрикос	593	305	401	567
Персик	308	93	57	275
Алича	558	359	375	453
Слива	285	104	191	157
Нектарин	1734	937	1047	2048

Сезонна динаміка розподілу амоніфікуючих організмів на МПА влітку показує менші показники, що може бути пов'язане з частішим поливом і високою температурою ніж навесні та восени. Високі показники чисельності організмів у культури нектарин спостерігаються в усіх порівняльних часових точках, найменші - у персика та сливи (рис. 3.4).

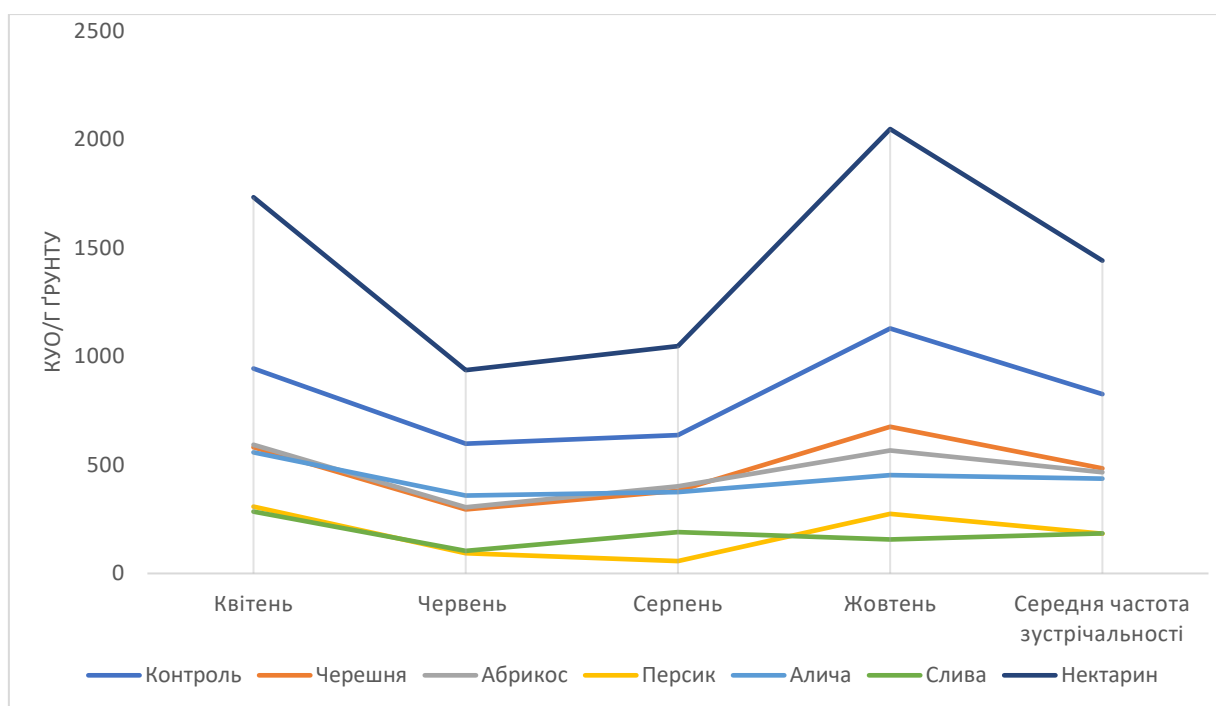


Рисунок 3.4 – Сезонна динаміка розподілу амоніфікуючих організмів під агроценозами плодкових дерев

У квітні, червні, серпні та жовтні чисельність обґрунтована для агроценозу нектарина виявляється вищою, тоді як інші агроценози, здебільшого, виявляють меншу чисельність у порівнянні з контролем.

Таблиця 3.5 – Сезонна динаміка розподілу амоніфікуючих організмів на поживному крохмало-аміачному агарі

Агроценоз	Чисельність, КУО/г ґрунту			
	Квітень	Червень	Серпень	Жовтень
Контроль	1731	1373	1427	1754
Черешня	1429	1028	1261	1556
Абрикос	1163	837	744	1174
Персик	1003	728	649	917
Алича	1109	973	962	1238
Слива	357	134	238	376
Нектарин	964	805	843	992

Динаміка розподілу мікроорганізмів на середовищі КАА по місяцям має схожу тенденцію з розподілом на МПА. Однак тут найбільші показники

мають агроценози черешні, абрикоса та аличі (рис. 3.4), найменші – слива. В порівнянні з контролем всі агроценози мають менші показники.

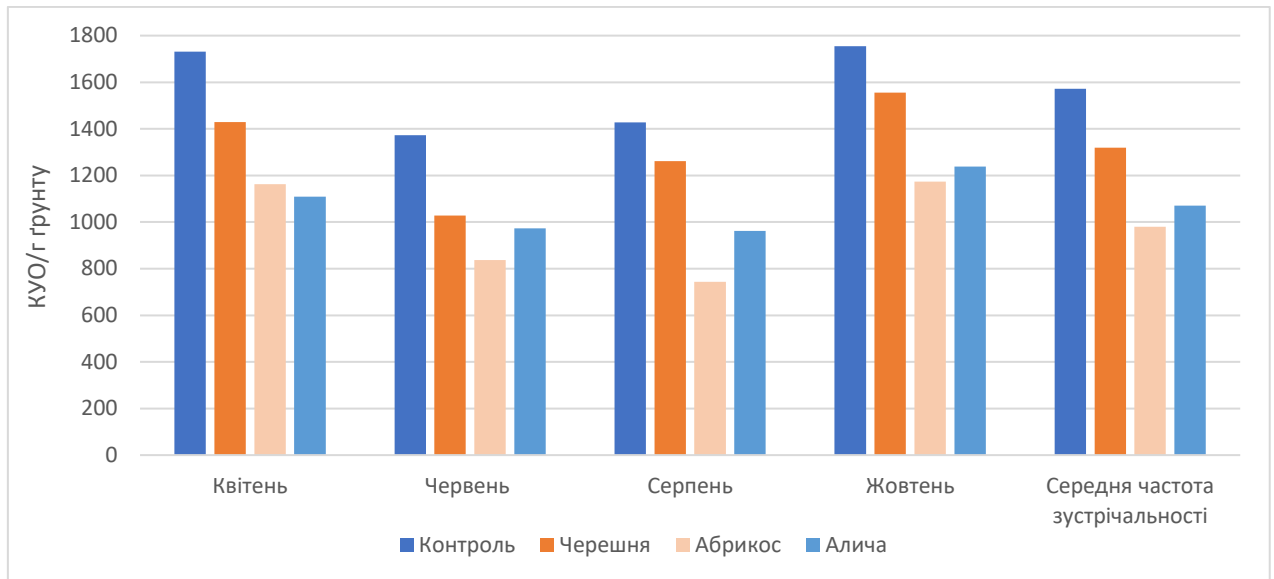


Рисунок 3.4 – Динаміка розподілу чисельності амоніфікуючих бактерій під культурами черешня, абрикос та алича в порівнянні з точкою контролю

Квітень та жовтень виявляються ключовими місяцями для дослідницької динаміки. Зміни у чисельності амоніфікуючих організмів у ці місяці можуть вказувати на ключові фази циклу життя або вплив агротехнічних заходів.

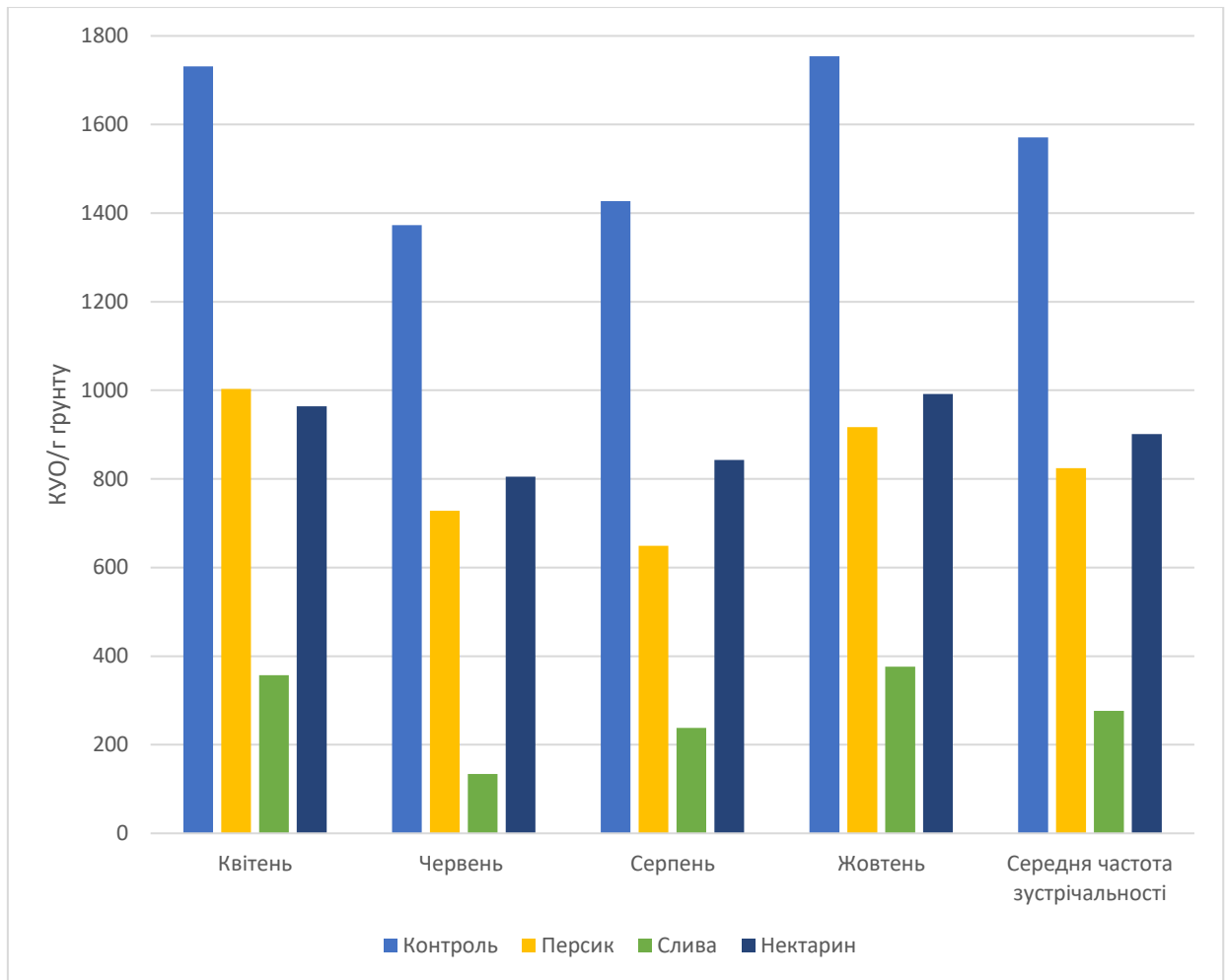


Рисунок 3.4 – Динаміка розподілу чисельності амоніфікуючих бактерій під культурами персик, слива та нектарин в порівнянні з точкою контролю

Оліготрофам властива здатність використовувати амоній як джерело азоту для свого зростання та розвитку. Ці організми можуть активно поглиблювати амоній з навколишнього середовища, забезпечуючи собі необхідні поживні елементи. Їх здатність взаємодіяти з амоніфікаційними організмами стає суттєвим ланцюгом у циклі азоту, де амоній переходить у біомасу оліготрофів.

Таблиця 3.6 – Сезонна динаміка розподілу оліготрофних організмів на голодному агарі

Агроценоз	Частота зустрічальності, КУО/г ґрунту			
	Квітень	Червень	Серпень	Жовтень
Контроль	3972	2743	3123	4056
Черешня	3736	3294	3383	3651

Абрикос	3964	3168	3671	4125
Персик	2423	2155	1986	2208
Алича	1752	1427	1527	1638
Слива	2342	2016	2128	2356
Нектарин	2092	1863	1927	2047

Цікавим аспектом є різниця у чисельності оліготрофних організмів між породами фруктових дерев. Спостереження вказують на те, що найбільші показники оліготрофів вирощених на середовищі ГА (рис. 3.5) зафіксовані у абрикоса та черешні, що можуть бути пов'язані з особливостями їх кореневої системи, виділенням органічних речовин або взаємодією з іншими компонентами середовища. У той час, як алича має найнижчі показники, ймовірно, через менш активний розвиток оліготрофних видів в її кореневій зоні (див. табл. 3.6).

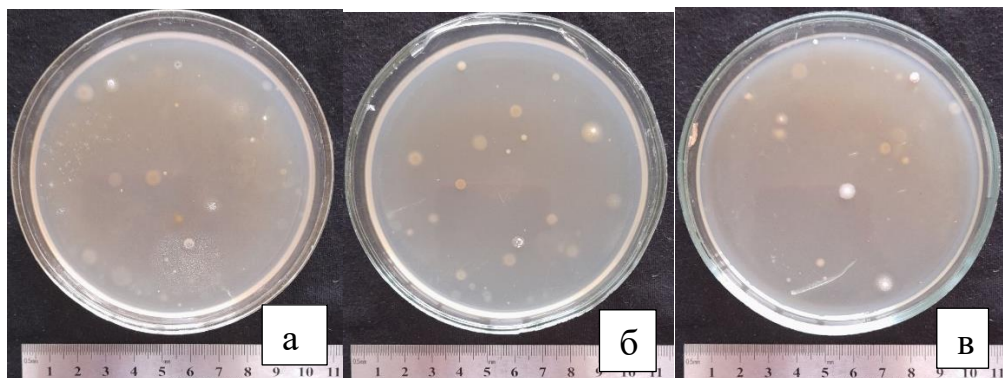


Рисунок 3.5 – Частота зустрічальності оліготрофних організмів в чашках Петрі на голодному агарі: абрикос (а), персик (б), слива (в)

Вивчаючи сезонне зростання та зниження чисельності оліготрофних організмів, можна зазначити, що піками активності є квітень та жовтень. Жовтень має найвище значення частоти зустрічальності для потреб агрокультури, що може бути пов'язано з підготовкою до зими та встановленим екосистемним балансом.

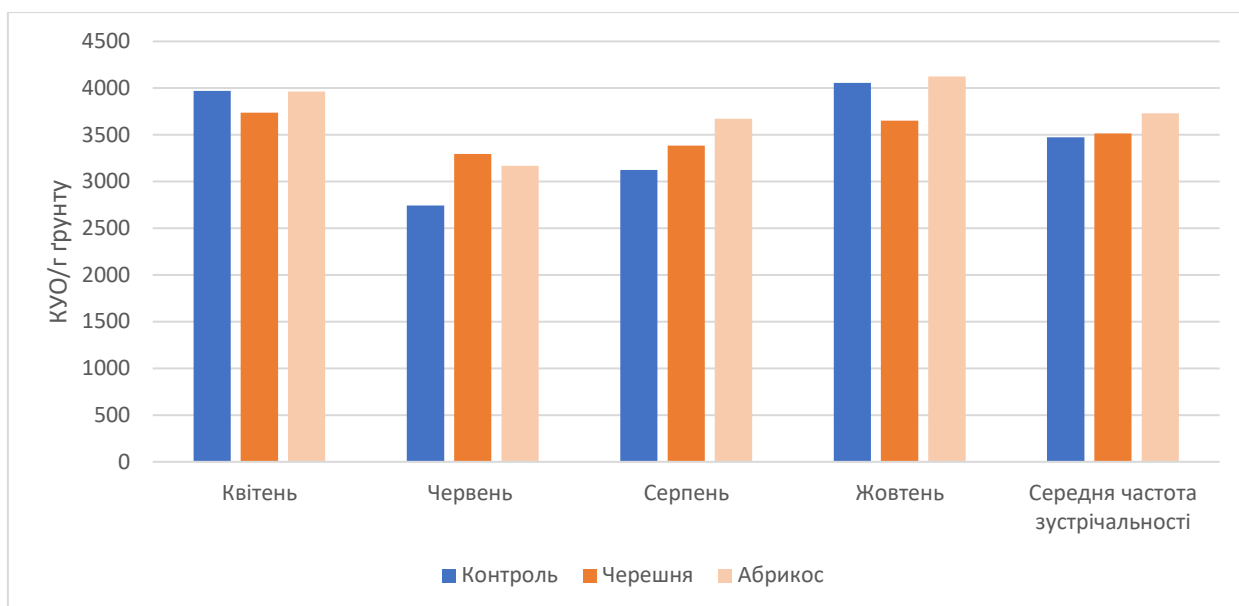


Рисунок – 3.6 - Динаміка розподілу чисельності оліготрофів під культурами черешні та абрикосу в порівнянні з точкою контролю

Під плодовими культурами черешні та абрикоса чисельність оліготрофних мікроорганізмів має схожу тенденцію розподілу з точкою контролю (рис. 3.6); під культурами персик, алича, слива та нектарин – показники значно менші (рис. 3.7).

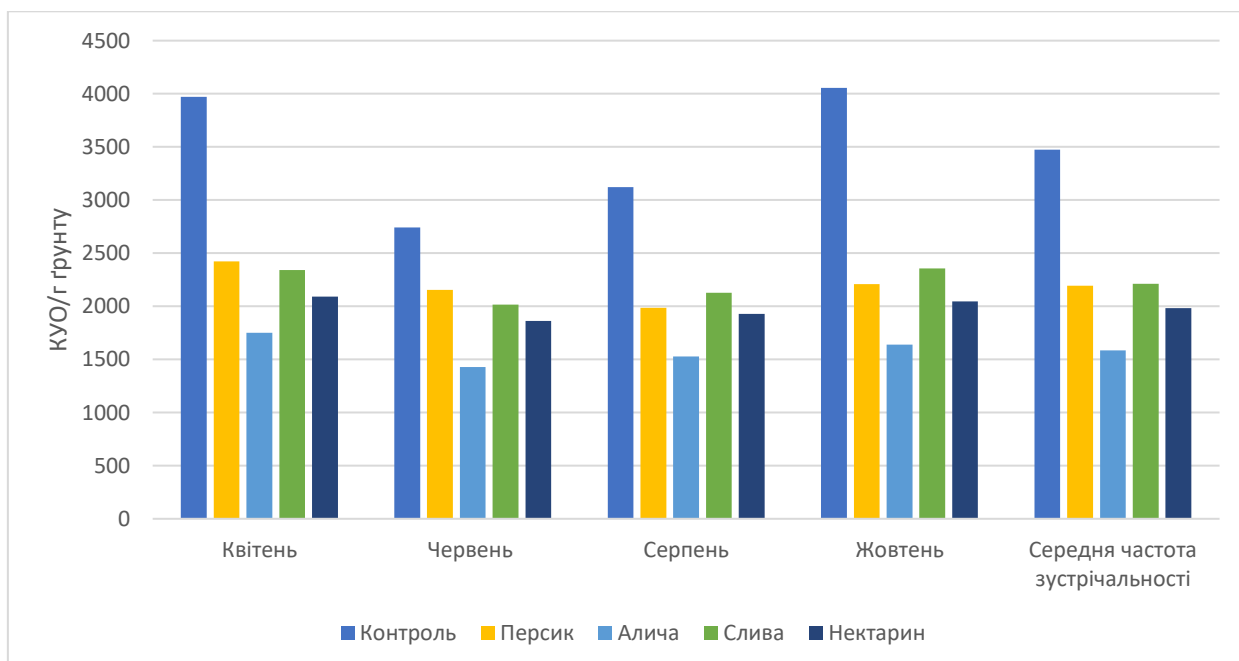


Рисунок – 3.6 - Динаміка розподілу чисельності оліготрофів під культурами персик, алича, слива та нектарин в порівнянні з точкою контролю

Усі агрокультури у розведеному середовищі мають високу частоту зустрічальності оліготрофних організмів.

Таблиця 3.7 – Сезонна динаміка розподілу оліготрофних організмів на розведеному крохмало-аміачному середовищі

Агроценоз	Частота зустрічальності, КУО/г ґрунту			
	Квітень	Червень	Серпень	Жовтень
Контроль	2604	2367	2143	2479
Черешня	2898	2576	2621	2804
Абрикос	4462	3972	4028	4332
Персик	6783	6292	6442	6681
Алича	6370	6036	5922	6414
Слива	6885	6493	6599	6732
Нектарин	7166	6824	6655	7106

На середовищі KR спостерігається схожість з показниками на середовищі ГА, через сезонне зростання та зниження чисельності оліготрофних організмів, з піками активності в квітні та жовтні. Жовтень виявляється ключовим місяцем для потреб агрокультури, що може бути пов'язано із завершенням вегетаційного періоду та приготуванням до зими.

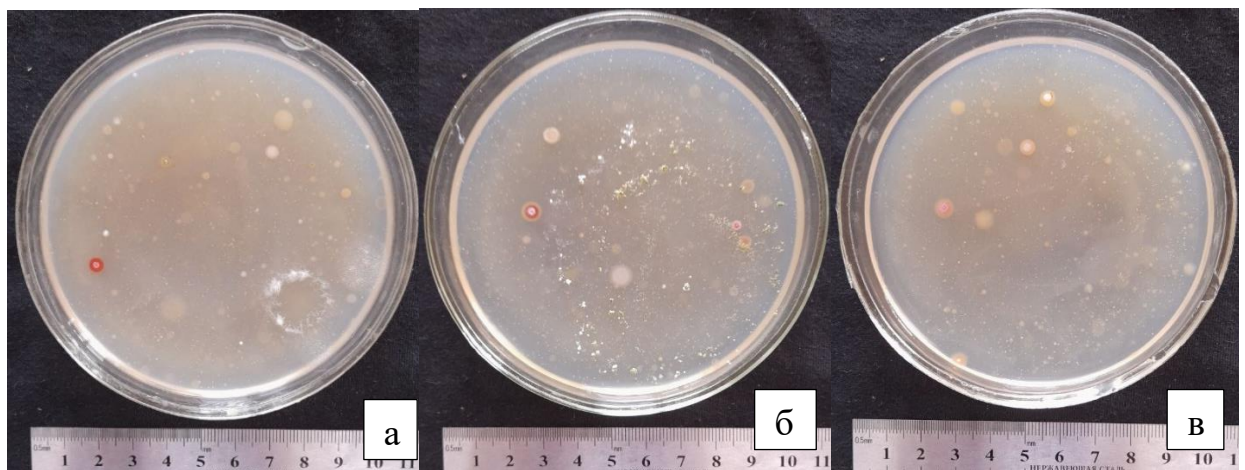


Рисунок 3.7 – Частота зустрічальності оліготрофних організмів в чашках Петрі на розведеному крохмало-аміачному середовищі: контрольна точка (а), алича (б), слива (в)

Є різниця в чисельності оліготрофних організмів між усіма агрокультурами. Наприклад, персик, алича, та нектарини мають високі частотні значення зустрічальності. Та всі агроценози мають більше значення ніж контрольна точка, що можна побачити на рисунку 3.8.

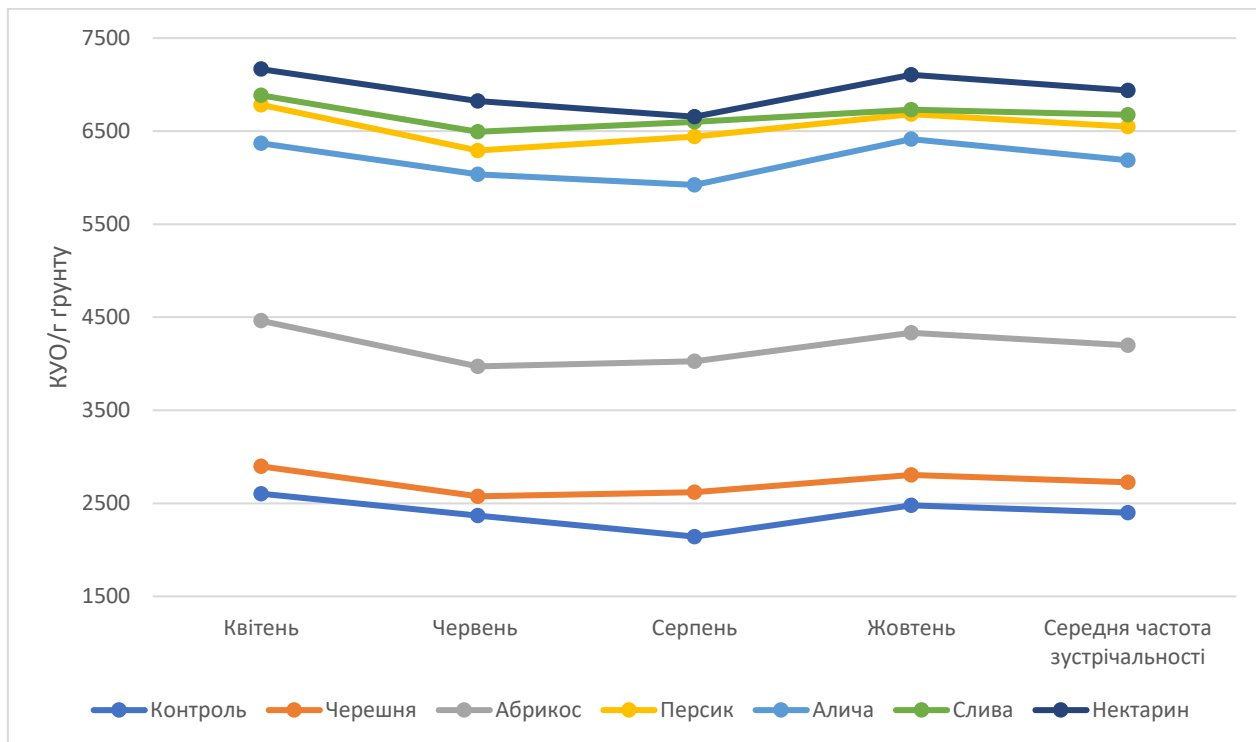


Рисунок 3.8 – Сезонна динаміка розподілу оліготрофних організмів під агроценозами плодівих дерев

Частота зустрічальності оліготрофних організмів у розведеному середовищі R (рис. 3.9) має вищий рівень порівняно з іншими середовищами.

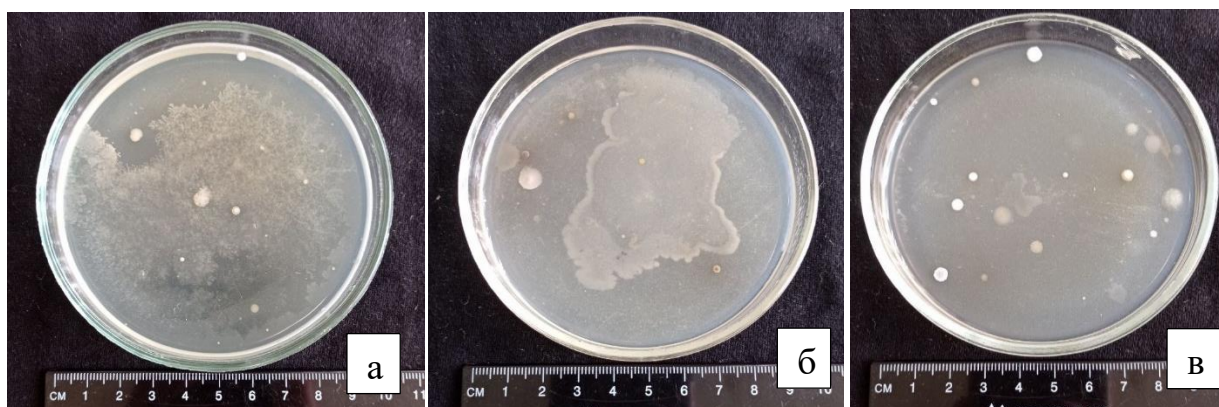


Рисунок 3.9 – Частота зустрічальності оліготрофних організмів в чашках Петрі на розведеному м'ясо-пептонному агарі: черешня (а), слива (б), нектарин (в)

Результати дослідів наведені в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Сезонна динаміка розподілу оліготрофних організмів на розведеному м'ясо-пептонному агарі

Агроценоз	Частота зустрічальності, КУО/г ґрунту			
	Квітень	Червень	Серпень	Жовтень
Контроль	2877	2519	2426	2764
Черешня	3405	3193	3214	3373
Абрикос	2267	1963	2036	2131
Персик	2924	2558	2641	2869
Алича	2437	2243	2113	2406
Слива	3911	3529	3861	3619
Нектарин	4135	3623	3852	4067

Різниця в чисельності оліготрофних організмів між агрокультурами виражена меншою мірою, проте є певні варіації. Черешня та алича демонструють таку динаміку у всіх місяцях, але черешня має трошки вищі значення частоти зустрічальності. Це можна вказати на те, що черешня створює сприятливіші умови для оліготрофних організмів у порівнянні з аличею.

Варіанти абрикос та слива також показують такі тенденції у чисельності оліготрофних організмів, але абрикос взагалі має трошки менше значення, особливо в серпні. Це можна вказувати на те, що взаємодія оліготрофних організмів із ґрунтом в абрикосовому агрокомплексі менш активна з агрокомплексом сливи. Персик та нектарин мають подібне значення в місцях, проте в чисельності оліготрофів

Персик має вище значення, зокрема в серпні та жовтні, що може бути пов'язано з агротехнічними особливостями вирощування цих культур.

Динаміку їх розподілу можна побачити на рисунку 3.10, де чітко видно що порівнюючи з точкою контролю, і ґрунтах під культурами аличі та абрикосу значення менші ніж в інших випадках.

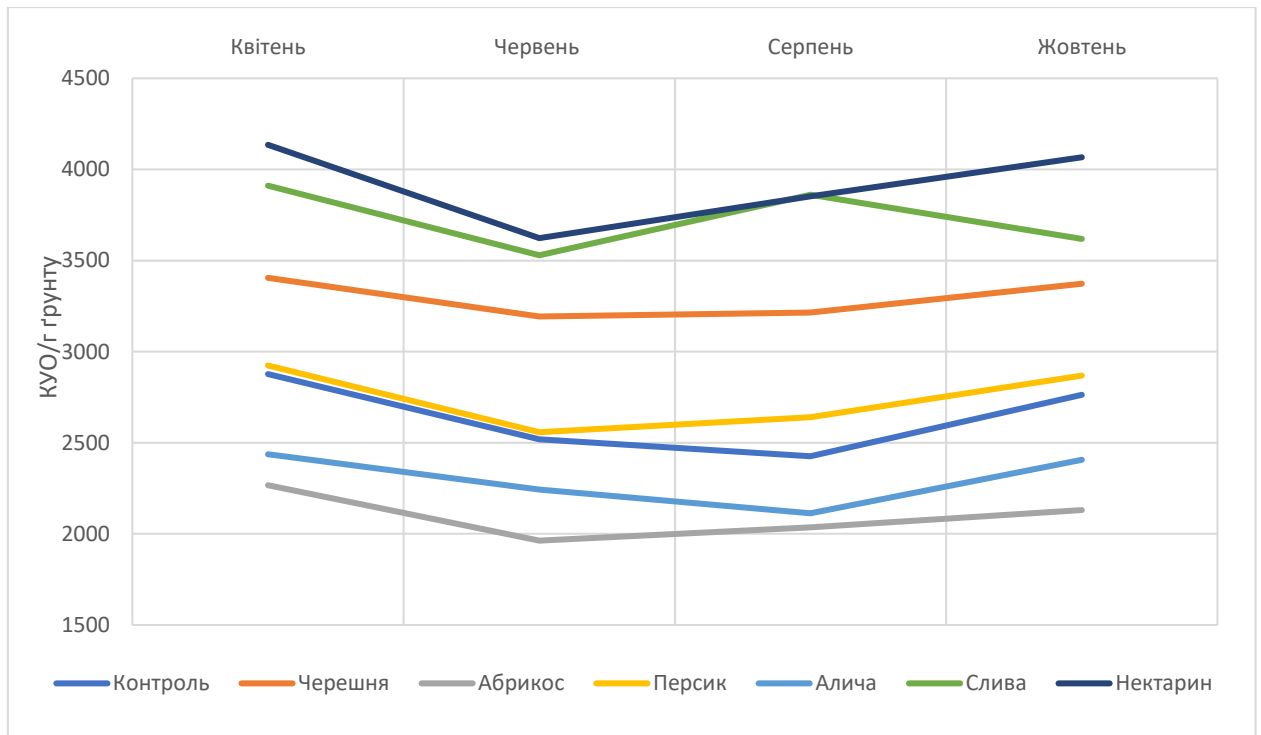


Рисунок 3.10 – Сезонна динаміка розподілу оліготрофних організмів під агроценозами плодкових дерев

Динаміка чисельності мікроорганізмів на різних середовищах має спільну тенденцію пов'язану зі зміною сезонів.

Весною свій стартовий ріст чисельності оліготрофних організмів, що пов'язаний із підвищенням температури та активізацією біологічних процесів у ґрунті. Однак показники залишаються порівняно високими, оскільки рослини та мікроорганізми знаходяться в стадії розвитку та активної вегетації.

Влітку деяке зниження чисельності оліготрофних організмів, що може бути пов'язано з підвищенням температури та засушливими умовами. Однак цей період може бути значущим для активізації інших організмів, які пристосовані до тепла та можуть конкурувати з оліготрофними видами.

Осінь характеризується відновленням чисельності оліготрофних організмів, мінімальна температура повітря стає сприятливою для їхньої активності. Особливо це застосування оліготрофних організмів, які здатні

адаптуватися до прохолодних умов та активно утилізувати поживні речовини в ґрунті.

3.2 Спрямованість мікробіологічних процесів в досліджуваних ґрунтах

Симбіотичні відносини між оліготрофами та амоніфікуючими мікроорганізмами є динамічним процесом, який сприяє екологічній стійкості обґрунтованих екосистем. Взаємодія цих організмів проти збереження циклу азоту, забезпечуючи постійний потік азотних речовин у ґрунтах. Це має важливе значення рослин та інших елементів екосистеми, які залежать від цього життєво важливого процесу.

Коефіцієнт мінералізації-іммобілізації азоту є показником інтенсивності процесів, пов'язаних з мінералізацією азотних сполук у ґрунті (таблиця 3.9). Цей показник вказує відношення кількості мікроорганізмів, які ростуть на живильному середовищі із застосуванням амонійного азоту (КАА), до мікроорганізмів, виявлених на живильному середовищі із органічним азотом (МПА). Цей коефіцієнт служить індикатором активності мікробіоти та впливу азотних сполук на мікробні процеси в ґрунтах.

Таблиця 3.9 - Коефіцієнт мінералізації -іммобілізації азоту в ґрунті

Агроценоз	Контроль	Черешня	Абрикос	Персик	Алича	Слива	Нектарин
КАА/МПА	1,9	2,73	2,1	4,5	2,45	1,5	0,63

Загальною тенденцією є те, що культури, такі як персик та черешня (рис. 3.11), мають високий коефіцієнт мінералізації-іммобілізації, що може показати на їхню високу потребу в мінеральних елементах або ефективність

грунту в їх утриманні та постачанні. З іншого боку, нектарини мають низький коефіцієнт, що може свідчити про меншу потребу в мінералах або меншу ефективність ґрунту в їхньому утриманні.

Важливо отримати, що інші фактори, такі як тип ґрунту, рівень кислотності ґрунтів та інші, також можуть впливати на доступність мінеральних елементів для рослин.

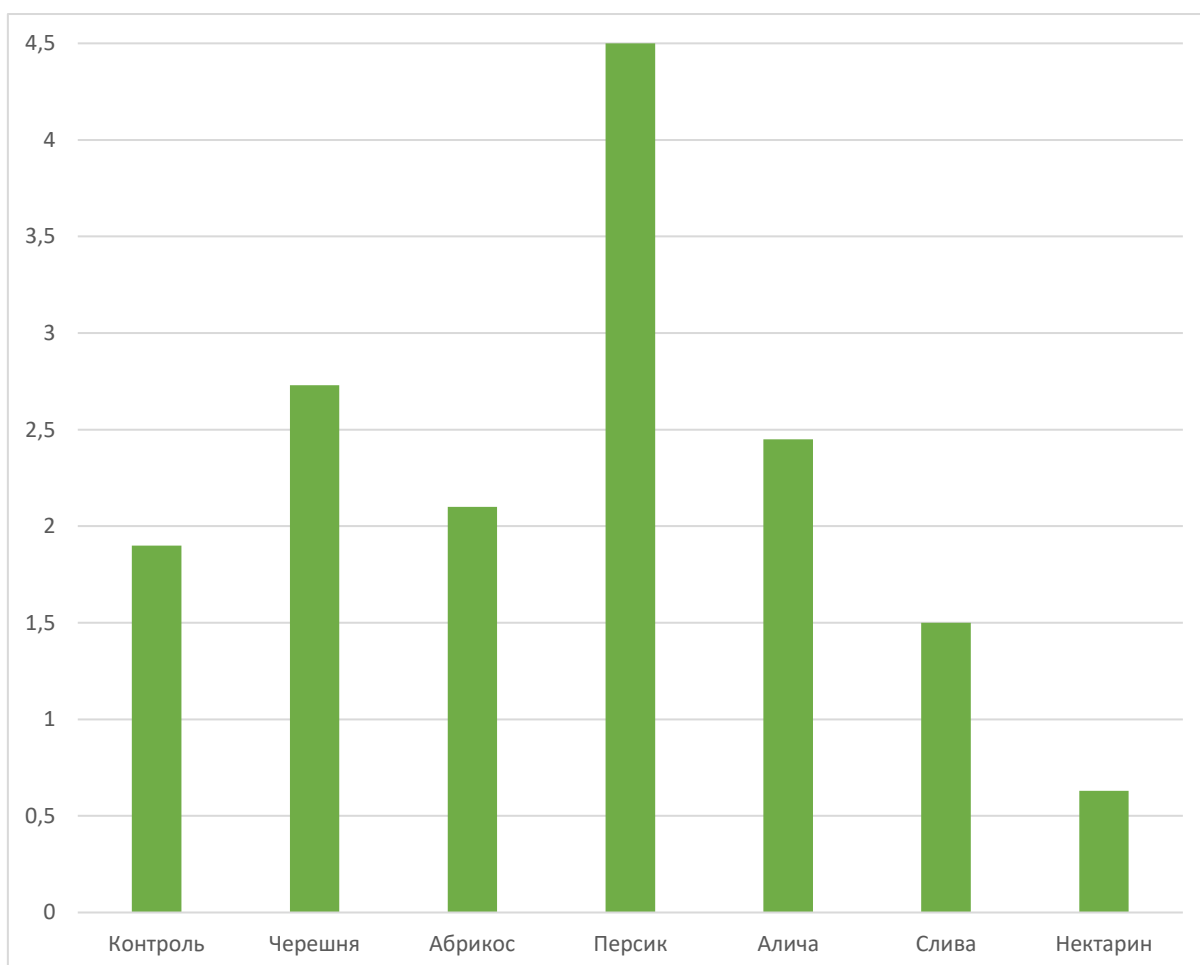


Рисунок 3.11 – Коефіцієнт мінералізації-іммобілізації азоту в ґрунті

В агроценозі персика спостерігається найвищий коефіцієнт мінералізації-іммобілізації (4,50), що свідчить про високий рівень інтенсивності мікробіологічних процесів у розкладанні органічних решток.

У багатьох агроценозах, зокрема в агроценозі абрикосу, контролю та інших, висока частота зустрічальності *Azotobacter* (від 91% до 92%) свідчить

про високий рівень активності цих бактерій. Це може вказувати на ефективну фіксацію азоту та його надання рослинам у доступній формі.

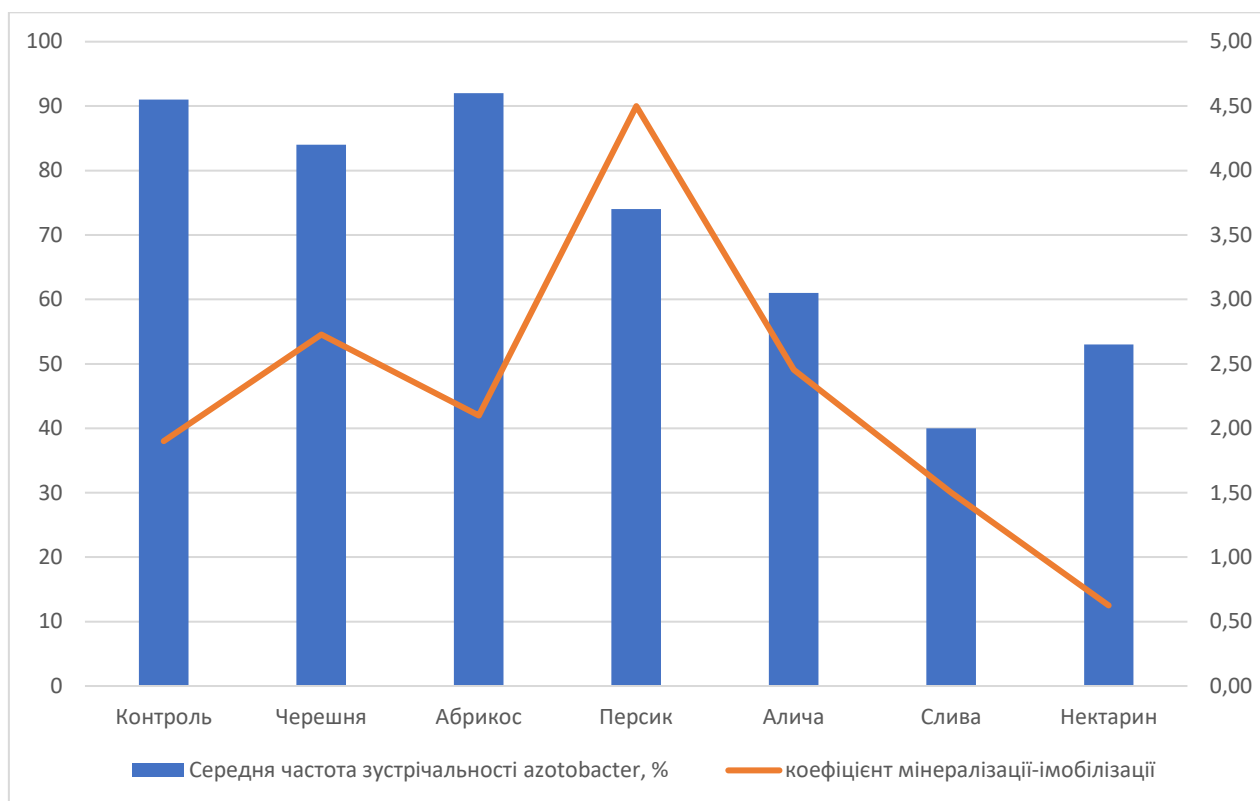


Рисунок 3.12 – Визначення залежності показників коефіцієнта мінералізації-іммобілізації та частоти зустрічальності бактерій роду *Azotobacter*

Різниця в частоті зустрічальності та коефіцієнтах мінералізації-іммобілізації між агроценозами може бути пов'язана з унікальними умовами кожного агроценозу, такими як тип ґрунту, рослинний склад та сільськогосподарські методи.

На підставі даного графіку (рис 3.12) можна визначити певні залежності між факторами, такими як середня частота зустрічальності *Azotobacter* та коефіцієнт мінералізації-іммобілізації. Нижче описано можливі залежності:

Вища частота зустрічальності *Azotobacter* спостерігається у тих агроценозах, де також зафіксовано високий коефіцієнт мінералізації-іммобілізації (наприклад, агроценоз абрикосу та точкою контролю).

Це може вказувати на те, що висока активність азотобактерій сприяє інтенсивному розкладанню органічних решток та відповідному звільненню азоту.

Також можна відзначити агроценоз персика, де, незважаючи на високу частоту зустрічальності *Azotobacter*, коефіцієнт мінералізації-іммобілізації є найвищим серед усіх досліджуваних агроценозів.

Це може свідчити про те, що, незважаючи на активність азотобактерій, частина азоту може бути іммобілізована в біомасу мікроорганізмів або іншими процесами.

Загалом, залежність між цими факторами може бути складною і визначатися багатьма факторами, такими як склад ґрунту, кліматичні умови та агрокліматичні особливості.

Розуміння мікробіологічних характеристик ґрунтів дозволяє визначити потенціал для оптимізації процесів в агроєкосистемах, таких як покращення доступності азоту для рослин або оптимізація розкладання органічних решток.

Індекс оліготрофності ґрунту, зокрема його зв'язок з азотом, вказує на наявність та доступність азоту для рослин, а також дозволяє встановити рівень доступності поживних елементів для рослин.

Результати наведені в таблиці 3.10

Таблиця 3.10 – Індекси оліготрофності ґрунту

Агроценоз	Контроль	Черешня	Абрикос	Персик	Алича	Слива	Нектарин
R/МПА	3,2	6,82	4,5	15	5,27	20,25	2,72
KR/КАА	1,53	2,07	4,29	7,94	5,78	24,17	7,7
ГА/МПА	1,9	2,73	2,1	4,5	2,45	1,5	0,63

Якщо індекс оліготрофності ґрунту, має високі показники, як в нашому випадку слива та персик (рис. 3.13), це може вказувати на недостатню доступність азоту для рослин. У такому випадку може бути необхідне

додаткове внесення азотних добрив для забезпечення рослини необхідною кількістю цього елемента.

Низький індекс оліготрофності, можна спостерігати під культурами нектарин та черешня що свідчить про те, що азот є достатньо доступним для рослин, і посилене внесення азотних добрив непотрібне.

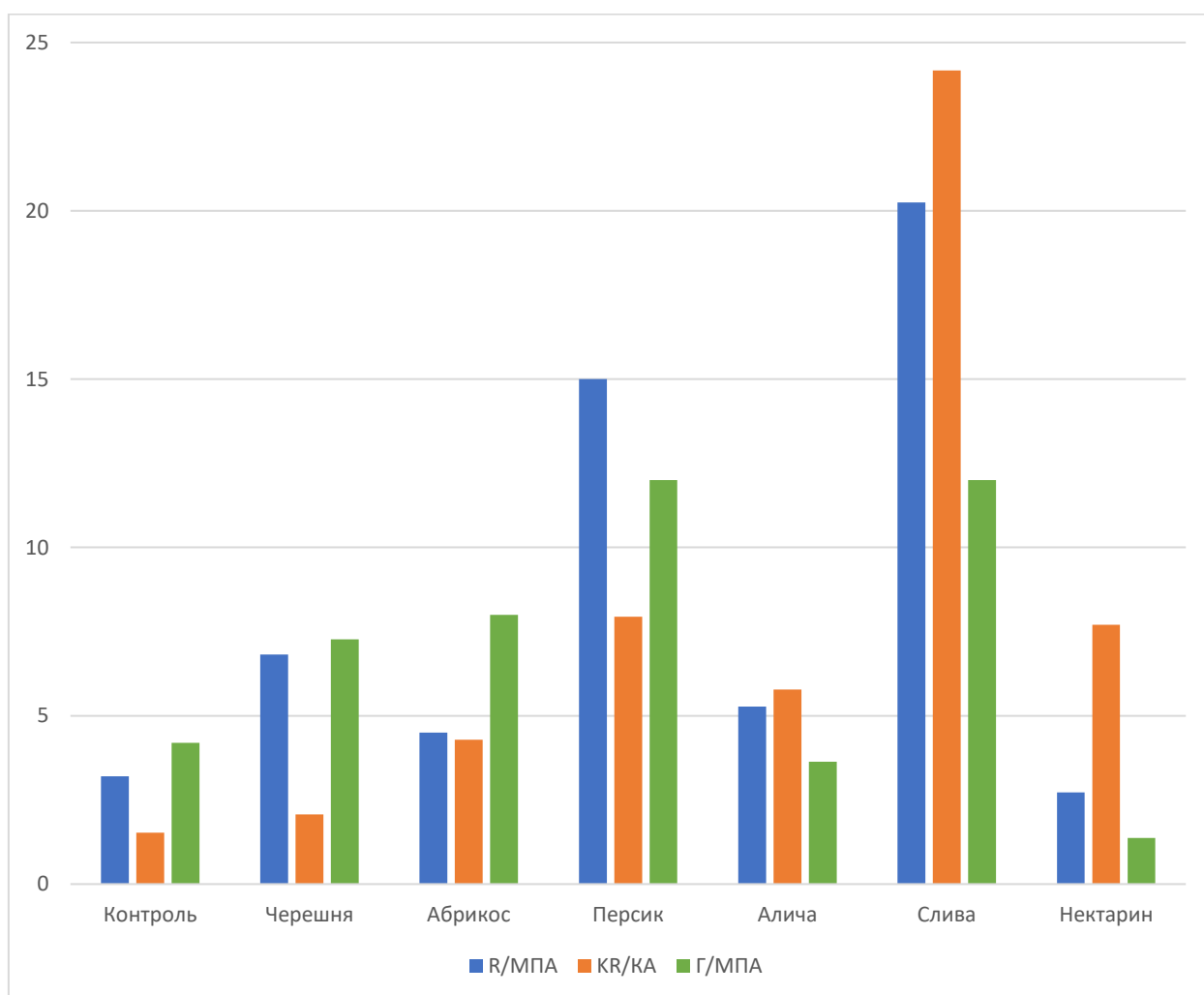


Рисунок 3.13 – Індекси оліготрофності ґрунту

Черешня та абрикос може мати стабільно високий внесок у збереженні азоту в ґрунті, що підтверджується як індексами оліготрофності, так і чисельністю амоніфікуючих організмів.

Ґрунти персика та сливи демонструють високий рівень оліготрофності, в той час як ґрунти нектарина є найменш оліготрофним. Інші агроценози розташовані в проміжних позиціях.

Коефіцієнти мінералізації-іммобілізації вказують на різний рівень мікробіологічної активності. Ґрунти черешні та персика проявляють високу мікробіологічну активність, тоді як ґрунти сливи та нектарина мають меншу активність (рис. 3.14).

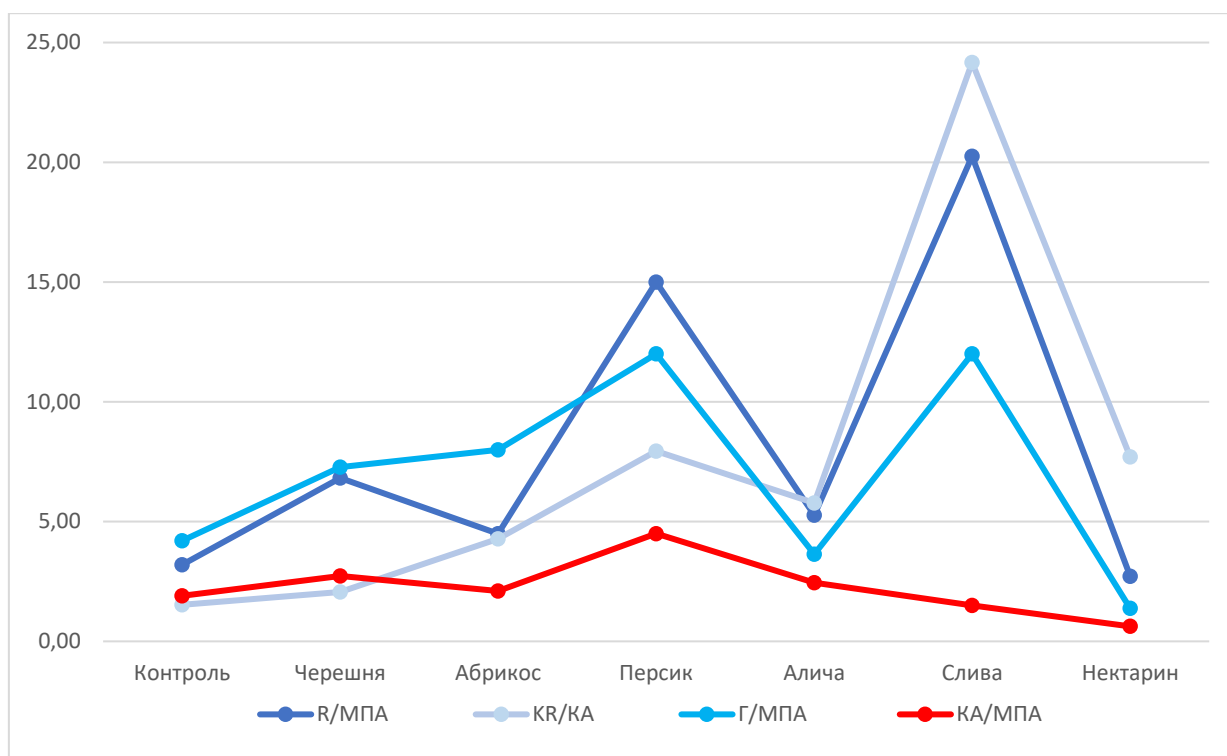


Рисунок 3.14 – Порівняння показників індексу оліготрофності з показником коефіцієнта мобілізації-іммобілізації

Для ґрунтів з високим рівнем оліготрофності (наприклад, черешня та слива) може бути важливим введення добрив для підтримки родючості.

Агроценози з високою мікробіологічною активністю (персик та черешня) можуть вимагати більш великої уваги до управління ґрунтовими процесами та введення добрив для підтримки цієї активності.

Ґрунти з меншою мікробіологічною активністю (слива та нектарин) можуть вигідно використовувати методи, що сприяють активізації мікробіологічних процесів у ґрунті.

Розуміння оліготрофності та мікробіологічної активності є важливим для ефективного управління ґрунтами у різних агроценозах. Для кожного з

них рекомендується індивідуальний підхід для забезпечення оптимальних умов для вирощування рослин та підтримки стійкого аграрного виробництва.

3.3 Потенційні економічні переваги впровадження результатів дослідження

Розглядаючи аспекти аналізу наявності бактерій роду *Azotobacter* в ґрунтах у різних агроценозах, важливо відзначити, що це дослідження не лише забезпечує важливу інформацію для сільськогосподарської практики, але й має значення для ефективного управління ресурсами та збереження навколишнього середовища.

В контексті раціонального використання азотних ресурсів, аналіз *Azotobacter* в ґрунті стає ключовим елементом економічної стратегії. Визначення стану азотного фонду та доступності азоту дозволяє точно планувати введення азотних добрив, уникнути їхнього перевитратного використання та зменшити негативний вплив на довкілля. Економічна обґрунтованість полягає в тому, що точне використання азотних ресурсів може покращити врожайність та знизити витрати на добрива.

Важливим фактором є і можливість зменшення залежності від хімічних добрив. Висока активність *Azotobacter* у фіксації атмосферного азоту робить його доступним для рослин, сприяючи природньому збагаченню ґрунту азотом. Це зменшує потребу у імпорті хімічних азотних добрив, що в свою чергу забезпечує фінансову вигоду для сільськогосподарських підприємств. Зниження витрат на хімічні добрива в економічному вимірі стає важливим чинником сталого розвитку аграрного сектора.

Більше того, присутність біологічного азоту в ґрунтах сприяє сталому розвитку та відновленню природного балансу. Враховуючи негативний вплив сільськогосподарської діяльності на навколишнє середовище, наявність

Azotobacter може функціонувати як природний регулятор, зменшуючи екологічний відбиток аграрного виробництва.

Таким чином, економічна значущість аналізу наявності бактерій роду *Azotobacter* в ґрунтах виявляється через комплексний вплив на раціональне господарювання азотними ресурсами, економію витрат та сприяння сталому розвитку сільськогосподарських угруповань і навколишньому середовищу.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

При відборі зразків ґрунту у студентів має бути спеціальний захисний одяг пов'язаний з погодними умовами (захист від сонця та вітру).

Перед початком роботи має бути пройдений інструктаж з безпеки праці з використанням інструментом.

При організації роботи в лабораторії користуються загально прийнятими вимогами ДСТУ ГОСТ 12.0.230:2008 Система стандартів безпеки праці. Системи управління охороною праці. Загальні вимоги (ГОСТ 12.0.230–2007, IDT) [59]. При специфічній роботі в мікробіологічній лабораторії слід дотримуватись вимог ДСТУ 7748:2015 Безпека праці. Біологічна безпека. Загальні вимоги [60].

У контексті роботи в лабораторії встановлено низку важливих принципів та вимоги до забезпечення безпечних умов праці для студентів. Перед допуском до роботи в лабораторії кожен студент повинен володіти необхідною кваліфікацією та пройти вхідний інструктаж з техніки безпеки та охорони праці. Також обов'язковим є ознайомлення з планом евакуації та розташуванням засобів пожежогасіння.

У випадках робіт у хімічній лабораторії необхідною вимогою є носіння халата із бавовняної тканини для забезпечення додаткового захисту.

Перед початком роботи з обладнанням студенти зобов'язані ознайомитися з інструкцією, у разі необхідності, пройти інструктаж чи навчання.

Робочі місця та приміщення загального користування повинні відповідати стандартам пожежної безпеки та електробезпеки. Плани

евакуації та засоби пожежогасіння повинні бути розташовані в усіх приміщеннях для миттєвого доступу.

Окрема увага приділяється збереженню робочих матеріалів та хімічних речовин, які повинні відповідати встановленим правилам та нормативам для забезпечення загальної безпеки та запобігання можливим негативним наслідкам.

Під час проведення лабораторних дослідів слід дотримуватися важливих правил у взаємодії з хімічними реактивами:

1) Обережно поводитись з хімічними реактивами:

- Уникаючи потрапляння цих речовин на шкіру рук, утримуючись від торкання обличчя та очей. Після завершення роботи обов'язково ретельно вимити руки.

- Не пробувати на смак хімічних реактивів.

- Під час оцінки аромату речовин слід виявляти особливу обережність, уникати нахилення над посудиною та обмежувати вдихання парів чи газів, напрямовуючи їх від себе рухом руки.

- Відмовитись від використання реактивів без відомих написів і етикеток.

- Заборонено вивозити будь-які речовини з лабораторії поза її межі.

2) Правильне використання та обробка реактивів:

- Реактиви для дослідів слід взяти у визначених методикою кількостях. Сухі реактиви збираються за допомогою шпателя, а розчини - за допомогою піпетки. Для кожного реактиву рекомендується використовувати окремий шпатель або піпетку.

- При набиранні отруйних або корозивних рідин використовується, спеціально призначена для цього, гумова груша для безпечного перенесення.

- Перед подрібненням сухих лугів завжди потрібно одягати запобіжні окуляри.

- Твердий луг слід брати лише за допомогою пінцета або щипців.

3) Оберігання від надлишкових реактивів:

- Заборонено виливати або висипати надлишки реактиву назад в посуд, з якого вони були взяті.

- Для утилізації надлишкових реактивів використовується спеціальний посуд для зливу або потрібно безпечно спустити їх із струмом води в каналізацію.

4) Безпека при роботі з їдкими рідинами:

- Під час приготування розчинів сірчаної кислоти слід дотримуватися особливої обережності. Концентровану кислоту слід додавати у воду, уникайте навпаки, оскільки це може спричинити сильне місцеве нагрівання та розбризкування кислоти. Використовуйте тонкостінне скло або посуд із фарфору.

- При контакті кислоти зі шкірою або слизовими оболонками необхідно спочатку промити пошкоджене місце великою кількістю води, а потім використати розчин соди (гідрокарбонату натрію).

- При потраплянні лугу на шкіру або слизові оболонки слід спочатку промити пошкоджену область водою до тих пір, поки вона не стане неслизькою, а потім використовувати розчин оцтової кислоти.

- Заборонено використання забрудненого лабораторного посуду для проведення дослідів.

5) Безпечне нагрівання рідин:

- Під час нагрівання рідин слід тримати пробірку з отвором від себе та інших осіб, що перебувають поблизу. Не нахиляйтеся над посудом, де відбувається кипіння чи наливання рідини, оскільки це може спричинити потрапляння бризків у очі.

- Категорично забороняється нагрівати або охолоджувати розчини у герметично закритих контейнерах та закривати колби з гарячою рідиною.

б) Перенесення гарячої рідини та робота з великими посудинами:

Переміщуючи посуд із гарячою рідиною, використовується рушник, посуд потрібно тримати обома руками: однією – за дно, іншою – за горловину. Великі хімічні стакани із рідиною слід піднімати лише двома руками, так, щоб відігнуті краї склянки опиралися на вказівні пальці.

7) Безпека роботи з леткими речовинами та концентрованими розчинами:

Працюючи з леткими речовинами, концентрованими лугами та кислотами, використовується витяжна шафа; забороняється зливання їх в каналізацію без попереднього розведення.

8) Робота з легкозаймистими рідинами:

Робота з легкозаймистими рідинами проводиться під витяжною шафою та подалі від нагрівальних приладів. У випадку загоряння спирту, ефіру та інших легкозаймистих рідин не варто використовувати воду для гасіння вогню, краще - піском.

9) Робота зі скляним посудом:

Потрібно бути обережним при роботі зі скляним лабораторним посудом, яке легко розбивається. Залишки розбитого скляного посуду слід уважно прибрати та викинути в спеціальний контейнер. Сировину чи напівфабрикати, до яких могли потрапити скляні уламки, слід викинути у відповідний контейнер.

10) Безпека в роботі з електроприладами:

- Перед початком дослідів з електроприладами переконайтеся в їхній справності та правильності підключення до електромережі та заземлення.

- Не переносьте увімкнені електроприлади та не залишайте їх без нагляду під час роботи. У випадку перерви в подачі електроенергії всі пристрої повинні бути негайно вимкнені.

11) Після закінчення роботи:

- Вимкніть всі використовувані електроприлади, витяжну шафу та водопостачання.

- Приберіть свої робочі місця.

- Ретельно вимийте руки.

12) Випадки відхилення та порушення правил:

Повідомляйте про всі випадки відхилення від нормального ходу лабораторної роботи та порушення вказаних правил викладачеві, черговому лаборанту чи завідувачеві лабораторії.

13) Протипожежна безпека:

- В лабораторії забезпечено вогнегасниками, ящиками з піском та ковдрами для протидії пожежам.

- Знайте місцезнаходження протипожежних засобів та процедуру термінової евакуації під час пожежі.

ВИСНОВКИ

В результаті дослідження встановлено, що динаміка популяції мікроорганізмів у різних середовищах проявляє спільну тенденцію, пов'язану із зміною сезонів. У весняний період спостерігається активний ріст чисельності мікроорганізмів, що зумовлено підвищенням температури та стимуляцією біологічних процесів у ґрунті. Незважаючи на це, показники залишаються на високому рівні, оскільки рослини та мікроорганізми перебувають у стадії активного росту та розвитку.

Погодні та кліматичні умови мають вирішальний вплив на динаміку чисельності ґрунтових мікроорганізмів, у літній період спостерігається зниження чисельності мікроорганізмів, що пов'язано з підвищенням температури ґрунту та умовами посушливості. Тим не менше, цей період може бути важливим для активізації організмів, адаптованих до тепла, які здатні конкурувати з оліготрофними видами.

Біоіндикаційні дослідження восени виявили відновлення чисельності мікроорганізмів, оскільки мінімальна температура повітря стає сприятливою для їхньої активності. Зокрема це стосується оліготрофних організмів, які можуть адаптуватися до прохолодних умов та ефективно утилізувати поживні речовини в ґрунті.

У контексті раціонального використання азотних ресурсів, вивчення присутності *Azotobacter* у ґрунті визначається як ключовий елемент економічної стратегії. Аналіз стану азотного фонду та доступності азоту дозволяє точно планувати введення азотних добрив, уникнути їх перевитратного використання та зменшити негативний вплив на довкілля.

Економічна обґрунтованість полягає в тому, що точне використання азотних ресурсів може покращити врожайність та знизити витрати на добрива.

Значущим фактором є можливість зменшення залежності від мінеральних добрив, що використовуються для фертигації інтенсивних плодкових садів в СФГ «Відродження». Висока активність *Azotobacter* у фіксації атмосферного азоту робить його доступним для рослин, сприяючи природньому збагаченню ґрунту азотом. Це зменшує потребу у використанні азотних добрив, що в свою чергу забезпечує фінансову вигоду для сільськогосподарських підприємств. Зниження витрат на мінеральні добривав в економічному вимірі стає важливим чинником сталого розвитку аграрного сектора.

Отже, економічна важливість біоіндикації за допомогою бактерій роду *Azotobacter* у ґрунтах виявляється через комплексний вплив на раціональне використання азотного фонду ґрунту, зниження витрат та сприяння сталому розвитку сільськогосподарських підприємств і збереженню від забруднення навколишнього середовища.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. D. Damodar Reddy Nutrient use efficiency in rainfed agro–ecosystems: concepts, computations and improvement interventions. Icar Crida, 2008. 275 p.
2. David L.Grant Investigating microbial genes involved in plant colonization and the effects on plant microbiome assembly: A Thesis Presented for the Master of Science Degree The University of Tennessee, Knoxville David, 2021. 166 p.
3. Волкогон В. В. Сільськогосподарська мікробіологія в Україні: Здобутки, проблеми, перспективи // Землеробство, ґрунтознавство, агрохімія. 2018. С. 20–27.
4. Надкерничний С.П. Перспективи використання нових мікробних препаратів для захисту рослин від кореневих патогенів. Бюл. Інституту сільськогосподарської мікробіології. 1997. № 1. С. 3–8.
5. Смірнов В.В., Патика В.П., Підгорський В.С. та ін. Мікробні біотехнології в сільському господарстві. Агроекологічний журнал. 2002. № 3. С. 3–8.
6. Гадзало Я.М., Патика Н.В., Зарішняк О.С. Агробіологія ризосфери рослин. Київ: Аграрна наука, 2015. 386 с.
7. Симочко Л.Ю., Дем'янюк О.С., Симочко В.В. Біоіндикація і біотестування ґрунтів – сучасні методичні підходи // Науковий вісник Ужгородського університету Серія Біологія, № 42. С 77–81.
8. Soil ecology and ecosystem services. (2012). Wall, D.H. (Ed.). Oxford university press, Oxford, 405 p.

9. Куян В. Г. Продуктивність різних інтенсивних садів яблуні в екологічних умовах полісся і західного лісостепу України // Вісник Державного агроекологічного університету, 2003. №2. С. 17–23.
10. Нестерчук Я. А. Особливості сучасних систем садівництва в сільськогосподарських підприємствах // Актуальні проблеми соціально-економічного розвитку регіональні особливості та світові тенденції, 2015. С. 101–104.
11. Власова О. Г. Закладання інтенсивного саду. URL: <https://agro-business.com.ua/agro/idei-trendy/item/8846-zakladannia-intensyvnoho-sadu.html>
12. Горбач М. М., Козлова Л. В. Підвищення ефективності мікрозрошення плодкових культур на півдні. Садівництво. Київ, 2012. Вип. 66. С. 182-188.
13. Тимошок І. В. Технології догляду за ґрунтом у садах. URL: <https://agro-business.com.ua/agro/mekhanizatsiia-apk/item/1252-tekhnolohii-dohliadu-za-gruntom-u-sadakh.html>
14. Howard S. Reed, Bruce Williams The effect of some organic soil constituents upon nitrogen fixation by azotobacter: virginia polytechnic institute, 1915. 56 p.
15. Frak M., Kardel I., Jankiewicz U. Occurrence of nitrogen cycle bacteria in the Biebrza River, Warsaw, 2012. P. 55–62.
16. Sapek A. 2000. Sezonowe zmiany zawartości azotu azotanowego w glebie łąki trwalej deszczowanej w latach 1937–1998.
17. Renata G. Efektywne wykorzystanie składników mineralnych z nawozów we współczesnym rolnictwie. Poznań, 2013. S. 15–20.
18. Babajewa K. M. Wpływ mieszanek motylkowato-trawiastych i nawożenia mineralnego na dynamikę przemian przyswajalnych form azotu w glebie w warunkach jej pustynnienia, 2010: t. 10 z. 4 (32). s. 7–14.
19. Bohlool, B.B., Ladha, J.K., Garrity, D.P. and George, T. (1992). Symbiotic nitrogen fixation for sustainable agriculture: A perspective. Plant and Soi. 141: 1–11.

20. Wubayehu Gebremedhin Summary Note on Nitrogen Fixation, Legume Nodulation and Abiotic Factors Affecting Biological Nitrogen Fixation Inside the Soil. Pawe, 2018. P. 55–60.
21. Ben Romdhane, S., M. Aouani, M. Trabelsi, P. De Lajudie, and R. Mhamdi (2008). Selection of high nitrogen-fixing rhizobia nodulating chickpea (*Cicer arietinum* L.) for semi- arid Tunisia. *J. Agro. and Crop Sci.* 194: 413–420.
22. Suchismita Prusty, Ranjan Kumar Sahoo, Ritu Sharaya, Narendra Tuteja, Sarvajeet Singh Gill Unraveling the potential of native *Azotobacter* and *Azospirillum* spp. formulations for sustainable crop production of rice (*Oryza sativa* L. var. Khandagiri): *South African Journal of Botany* 2023, P. 10-19.
23. Aasfar et al. Nitrogen fixing *Azotobacter* species as potential soil biological enhancers for crop nutrition and yield stability *Front. Microbiol.* 2021.
24. *Rhizophagus irregularis* and nitrogen fixing *azotobacter* enhances greater yam (*Dioscorea alata*) biochemical profile and upholds yield under reduced fertilization: *Saudi Journal of Biological Sciences / Anand Kumar and others.* 2022. P. 3694–3703.
25. Rather H. A., *Bio-fertilizers in Organic Agriculture: Journal of Phytology* 2010. P. 42–54.
26. Emam N. F., Fayez M., Makboul H. E. Wheat growth as affected by inoculation with *Azotobacter* isolated from different soils. *Zentralbl. Microbiol.*, 1986. P. 17-23.
27. Bharat Mani Upadhyay, Elwin G. Smith, M. Lucila. Favret an innovative approach for modeling crop yield response to fertilizer nutrients: CEA-CAES annual meeting, Montreal, Quebec, 2006. P. 30.
28. *Azotobacter*: A potential bio-fertilizer for soil and plant health management: *Saudi Journal of Biological Sciences / Aisha Sumbul etc.* 2020, P. 3634-3640..
29. Aquilanti L., Favilli F., Clementia F. Comparison of different strategies for isolation and preliminary identification of *Azotobacter* from soil samples: *Soil Biology and Biochemistry*, 2004, P. 1475-1483.

30. Brown M. E. et al. Studies on Azotobacter species in soil. I. Comparison of media and techniques for counting Azotobacter in soil: Plant and Soil, 1962.
31. Hindersah, R. Growth and composition of exopolysaccharides of nitrogen-fixing bacteria Azotobacter spp. on media containing cadmium. Proceedings of the Indonesian Biodiversity National Seminar, 2015. P. 1644-1648.
32. Reducing Pb accumulation in roots of sweet potato under low lead-contaminated soil by Azotobacter inoculation: Journal of degraded and mining lands management / Reginawanti Hindersah ect. 2023. P. 4271–4280.
33. Armi K. Some observations on the occurrence of azotobacter in Finnish soils: Scientific Agricultural Society of Finland, 1954.
34. Carter, E. G., Greaves, J. D. 1928 The nitrogen fixing microorganisms of an arid soil. Soil. Sci., 32, p. 9-25.
35. Narayan RP, Kehri HK. Effect of different agricultural practices on population dynamics of Azotobacter chroococcum and on its nitrogen fixing potentiality in trans-ganga and trans-Yamuna plains of India. Acta Agriculturae Serbica, 2011. P. 97–122.
36. Pesticide resistance among Azotobacter chroococcum soil isolates and mutants: Microbiological Research / N.Gupta and others, 1994. P. 391-393.
37. Вплив елементів системи землеробства на біологічну активність та урожайність озимої пшениці в південно-східній частині степу України / Лебідь Є. М. та ін. 2012.
38. Ojaghloo F, Farahvash F, Hassanzadeh A, et al. Effect of inoculation with Azotobacter and barvar phosphate bio-fertilizers on yield of safflower (Carthamus tinctorius L.). Journal of Agricultural Sciences. Tabriz Branch: Islamic Azad University; 2007. p. 25–30.
39. New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering / G. Chennappa ect. 2019. P. 267–279.

40. Коць С.Я. Мікробіологічна трансформація азоту в ґрунтах. / С.Я. Коць, Н.В. Патики, В.Ф. Патики. – Корми і кормовиробництво. – 2008. – Вип. 62. – С. 228–234.
41. Shelly Juurlink, Derek Lynch Soil P Status and Nitrogen Fixation on Organic Dairy Farms in Ontario and Nova Scotia, 2010. P. 1–4.
42. Azotobacter Population, Soil Nitrogen and Groundnut Growth in Mercury-contaminated Tailing Inoculated with Azotobacter / Handman Z. ect. 2018.
43. Jennifer C Stern, ect. Evidence for indigenous nitrogen in sedimentary and aeolian deposits from the Curiosity rover investigations at Gale crater, Mars. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25831544/>
44. Грицаєнко А.О. Плодівництво. – К.: Урожай, 2000. 430 с.
45. Куян В.Г. Плодівництво: підручник / В.Г. Куян. – Житомир: Вид-во ЖНАЕУ, 2009. 480 с.
46. Куян В.Г. Спеціальне плодівництво. Підручник. – К: Світ, 2004. 464 с.
47. Ґрунти. Рослинність Дніпропетровської області. URL: https://prirodacehram.blogspot.com/2015/06/blog-post_12.html
48. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Дніпропетровській області за 2022 рік.
49. Горб А.С. Клімат Дніпропетровської області. Монографія – Д.: Вид-во ДНУ, 2006–204 с.
50. Екологічний паспорт Дніпропетровської області за 2022 рік.
51. ДСТУ 4287:2004 Якість ґрунту. Відбирання проб.
52. ДСТУ ISO 11465–2001 Якість ґрунту. Визначення сухої речовини та вологості за масою. Гравіметричний метод (ISO 11465:1993, IDT).
53. ДСТУ 7845:2015 Якість ґрунту. Класифікація ґрунтів за ступенем підлуження.
54. Звягінцев Д. Г. Методи ґрунтової біології та біохімії. 1991. С. 229–230.

55. ДСТУ 7847:2015 Якість ґрунту. Визначення чисельності мікроорганізмів у ґрунті методом посіву на тверде (агаризоване) живильне середовище.

56. Симочко Л. Ю., Симочко В. В., Бігирій І. Й., Спрямованість мікробіологічний процесів у ґрунті агробіоценозів при застосуванні різних агрозаходів // Науковий вісник Ужгородського університету. Біологія. Ужгород, 2010. №28. С. 47–51.

57. Волкогон В. В., та ін. Експериментальна ґрунтова мікробіологія – К.: Аграрна наука, 2010. 463 с.

58. Зленко І. Б., Карпенко В. П., Леонтюк І. Б. Екологічна мікробіологія: навч. посіб. Дніпро: Пороги, 2020. 254 с.

59. ДСТУ ГОСТ 12.0.230:2008 Система стандартів безпеки праці. Системи управління охороною праці. Загальні вимоги (ГОСТ 12.0.230–2007, ІДТ).

60. ДСТУ 7748:2015 Безпека праці. Біологічна безпека. Загальні вимоги.