

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет ТВПШТСБ

**Кафедра біотехнології та біоінженерії
Спеціальність 162 – «Біотехнології та біоінженерія»
Ступінь вищої освіти «Магістр»**

«Допустити до захисту»

Декан _____ Михайло ГИЛЬ

“ _____ ” _____ 2024 р.

«Рекомендувати до захисту»

В.о. зав. кафедри _____ Олена КАРАТЄЄВА

“ _____ ” _____ 2024 р.

**БІОТЕХНОЛОГІЧНІ ПРИЙОМИ ПІДВИЩЕННЯ
ДОСТУПНОСТІ ПОЖИВНИХ РЕЧОВИН ҐРУНТУ ІЗ
ВИКОРИСТАННЯМ БІОДОБРІВ В УМОВАХ ТОВ «ІНСТИТУТ
ПРИКЛАДНОЇ БІОТЕХНОЛОГІЇ» ВІННИЦЬКОЇ ОБЛАСТІ**

04.02. – КР. 111-О. 24 09 18. 003

Виконавець:

здобувач вищої

освіти II курсу _____ Артем КВАСНИЦЯ

Науковий керівник:

доцент _____ Євген БАРКАРЬ

Рецензент:

доцентка _____ Олена ЮЛЕВИЧ

Миколаїв – 2024

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	7
1.1. Роль біодобрих у сучасному сільському господарстві	7
1.2. Традиційні та інноваційні методи підвищення родючості ґрунту	10
1.3. Потенційна роль біодобрих у сільському господарстві:.....	13
1.4. Роль мікроорганізмів у покращенні доступності поживних речовин у ґрунті	14
РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ, УМОВИ І МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ РОБОТИ	16
2.1. Місце та об'єкт дослідження	16
2.2. Методика виконання роботи.....	18
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	21
3.1. Технологічна схема виробництва біодобрих	21
3.2. Загальна доступність поживних речовин при наявності біодобрих в ґрунті.	22
3.3. Вплив біодобрих на мікоризу культурних рослин	30
3.4. Аналіз урожайності основних культур залежно від застосування біодобрих.....	32
3.5. Економічна ефективність використання біодобрих	46
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ	51
РОЗДІЛ 5. БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	55
РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ РОЗРОБЦІ ТА ЗАСТОСУВАННІ БІОДОБРИХ.....	58
ВИСНОВКИ.....	61
ПРОПОЗИЦІЇ.....	63
СПИСОК ДЖЕРЕЛ	64
ДОДАТКИ.....	68

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота виконана на 68 сторінках друкованого тексту, з використанням 29 бібліографічних джерел спеціальної, довідкової літератури та періодичних видань. До роботи внесено 11 таблиць, 7 рисунків та 1 додаток.

Тема кваліфікаційної роботи: «Біотехнологічні прийоми підвищення доступності поживних речовин ґрунту із використанням біодобрих в умовах ТОВ «Інститут Прикладної Біотехнології» Вінницької області».

Мета дослідження – визначення ефективних біотехнологічних прийомів підвищення доступності поживних речовин ґрунту із використанням біодобрих в умовах ТОВ «Інститут прикладної біотехнології» Вінницької області. Відповідно до поставленої мети було визначено наступні завдання дослідження: проаналізувати технологічну схему виробництва біодобрих, вивчити загальну доступність поживних речовин при наявності біодобрих в ґрунті, дослідити вплив біодобрих на мікоризу культурних рослин, провести аналіз урожайності основних культур залежно від застосування біодобрих, розрахувати економічну ефективність використання біодобрих. Об'єкт дослідження – доступність поживних речовин ґрунту за використання біодобрих. Предметом дослідження було удосконалення біотехнологічних прийомів підвищення доступності поживних речовин ґрунту із використанням біодобрих.

Методи дослідження – визначення кислотності (рН-метрія), визначення текстури ґрунту та вологостійкості, визначення характеристик композиції біодобрива – посіви та вирощування окремих мікроорганізмів на культуральних середовищах.

Отримані результати досліджень та їх аналіз дозволяють стверджувати, що використання біодобрих дозволяє оптимізувати агротехнічні заходи, зменшити залежність від хімічних засобів та підтримувати родючість ґрунту на тривалий період, що має позитивний екологічний ефект і сприяє сталому розвитку агроєкосистем.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АМГ - арбускулярні мікоризні гриби.

ДСТУ – державний стандарт України.

Дезаміназа АСС - це індукований фермент, синтез якого активується за наявності його субстрату АСС. Цей фермент, що кодується геном *AcdS*, перебуває під суворим контролем і регулюється по-різному залежно від умов навколишнього середовища.

КУО – колонієутворюючі одиниці.

АСС - Аміноциклопропанкарбонова кислота — органічна сполука, непротеїногенна амінокислота, яка є проміжним продуктом у біосинтезі рослинного гормону етилену.

pH – водневий показник.

PGPR – (Plant Growth Promoting Bacteria) бактерії, що сприяють росту рослин.

WHC – (Water Holding Capacity) вологемність ґрунту.

Сидерофори - хімічні сполуки, що хелатують іони заліза, і які виділяються деякими мікроорганізмами.

ВСТУП

Біотехнологія займає провідне місце серед сучасних наукових напрямків, які спрямовані на забезпечення сталого розвитку сільського господарства. Використання біотехнологічних методів дає змогу значно підвищити ефективність використання природних ресурсів, зокрема ґрунтових, забезпечуючи їхнє збереження та покращення якості. У сучасному аграрному виробництві важливим завданням є підвищення доступності поживних речовин у ґрунті, що сприяє збільшенню врожайності та зменшенню залежності від мінеральних добрив. Водночас застосування біодобрив як альтернативи традиційним хімічним препаратам дозволяє не лише оптимізувати витрати, але й знизити екологічне навантаження на агроєкосистеми.

Актуальність теми дипломної роботи зумовлена зростаючими вимогами до ефективного і екологічно безпечного використання ґрунтових ресурсів у контексті глобальних викликів, таких як деградація ґрунтів, зміна клімату та виснаження традиційних джерел фосфору і азоту. Одним із перспективних напрямків вирішення цієї проблеми є застосування біопрепаратів, які здатні активізувати природні біохімічні процеси у ґрунті, зокрема за рахунок діяльності мікроорганізмів. Ці препарати сприяють мобілізації важкодоступних форм поживних елементів, таких як фосфор, калій, азот, а також покращують структуру ґрунту, підвищують його вологоутримуючу здатність та сприяють розвитку корневих систем рослин.

Дослідження в рамках дипломної роботи проводяться на базі ТОВ «Інститут прикладної біотехнології» у Вінницькій області, що спеціалізується на розробці та впровадженні біопрепаратів для сільського господарства. Основна мета цієї роботи полягає в розробці та оптимізації біотехнологічних прийомів, спрямованих на підвищення доступності поживних речовин у ґрунті, що сприятиме ефективному використанню ресурсів і збереженню екологічної рівноваги. Зокрема, увага приділяється вивченню ефективності

застосування різних форм біодобрих та їхнього впливу на агроекологічні показники.

У цьому контексті важливим є визначення оптимальних умов для реалізації потенціалу біодобрих у конкретних ґрунтово-кліматичних умовах, що є основою для впровадження інноваційних підходів у сільськогосподарське виробництво. Результати цієї роботи мають практичне значення, адже вони сприятимуть розробці ефективних технологій, які дозволять підвищити врожайність культур, зменшити використання хімічних добрив і, як наслідок, знизити забруднення довкілля. Таким чином, ця тема є не лише науковою, а й соціально значущою, оскільки сприяє досягненню цілей сталого розвитку в сільському господарстві.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Роль біодобрив у сучасному сільському господарстві

Органічне землеробство стало важливим пріоритетом у всьому світі через зростаючий попит на безпечну і здорову їжу, довгострокову стійкість та занепокоєння щодо забруднення навколишнього середовища, пов'язаного з неконтрольним використанням агрохімікатів. Хоча використання хімічних препаратів у сільському господарстві є неминучим для задоволення зростаючого попиту на продукти харчування у світі, існують можливості для окремих культур і специфічних нішевих областей, де органічне виробництво може бути заохочене для освоєння внутрішнього та експортного ринку.

Біодобрива є невід'ємною складовою органічного землеробства. Це препарати, що містять живі або сплячі клітини ефективних штамів мікроорганізмів, які фіксують Нітроген, розчиняють фосфати або розщеплюють целюлозу, і які застосовуються до насіння, ґрунту або компостних ділянок з метою збільшення кількості таких мікроорганізмів і прискорення мікробіологічних процесів, що сприяють доступності поживних речовин, які рослини можуть легко засвоювати.

Біодобрива відіграють дуже важливу роль у підвищенні родючості ґрунту, фіксуючи атмосферний Нітроген (як у взаємодії з корінням рослин, так і без цього), розчиняючи нерозчинні фосфати ґрунту, та виробляючи речовини, що стимулюють ріст рослин у ґрунті. Вони фактично спрямовані на використання природної біологічної системи мобілізації поживних речовин.

Роль і значення біодобрив у сталому виробництві сільськогосподарських культур були розглянуті багатьма авторами. Неконтрольне використання синтетичних добрив призвело до забруднення та деградації ґрунтів, забруднення водних басейнів, знищення мікроорганізмів та корисних комах, що зробило рослини більш вразливими до хвороб і знизило родючість ґрунтів.

Попит на добрива значно перевищує їх доступність. За оцінками, до 2020 року, щоб досягти цільового виробництва 321 мільйона тон продовольчого зерна, потреба в поживних речовинах складе 28,8 мільйона тонн тоді як доступність становитиме лише 21,6 мільйона тонн, тобто дефіцит складе близько 7,2 мільйона тонн. Зменшення запасів сировини/викопного палива (енергетична криза) та зростаюча вартість добрив стали непосильними викликами для дрібних фермерів. Зниження родючості ґрунту через збільшення розриву між вилученням і забезпеченням поживних речовин, а також зростаючі екологічні ризики є загрозою для сталого сільського господарства.

Біодобрива в довгостроковій перспективі є економічно вигіднішими, екологічно безпечними, ефективнішими, продуктивнішими та доступнішими для дрібних фермерів у порівнянні з хімічними добривами.

Мікроорганізми. Ґрунтові мікроорганізми (бактерії, дріжджі, гриби, водорості, найпростіші тощо) присутні в ґрунті, який забезпечує їх їжею, водою та придатним місцем для життя. Їхньою їжею є енергетичні матеріали, що потрапляють у ґрунт у вигляді залишків рослин і тварин.

У процесі розкладання органічної речовини ґрунтові мікроорганізми вивільняють Нітроген, Фосфор та інші мінеральні поживні речовини в формах, доступних для рослин. Крім того, розкладена органічна речовина покращує структуру ґрунту, збільшує його здатність утримувати вологу та зменшує втрати ґрунту [2].

Основні характеристики деяких мікроорганізмів.

Фіксатори Нітрогену.

Rhizobium:

- належить до родини *Rhizobiaceae*, симбіотичний організм, фіксує 50–100 кг Нітрогену/га лише у взаємодії з бобовими культурами;
- корисний для зернобобових (нут, горох, сочевиця, чорний горох), олійних бобових (соя, арахіс) і кормових бобових (люцерна, конюшина) ;
- успішна нодуляція залежить від доступності сумісного штаму

Rhizobium для конкретної культури. Бактерія формує вузлики на корінні рослин, які слугують "фабриками" з виробництва аміаку;

- у відсутності бобових кількість *Rhizobium* у ґрунті зменшується, тому часто потрібна штучна інокуляція насіння для відновлення популяції.

Azospirillum:

- належить до родини *Spirilaceae*, гетеротрофний організм асоціативного типу;

- фіксує 20–40 кг Нітрогену/га і виробляє регулятори росту;

- підходить для культур з C4-фотосинтезом (маїс, сорго, цукрова тростина).

Azotobacter:

- належить до родини *Azotobacteriaceae*, аеробний і вільноживучий організм;

- найчастіше зустрічається в нейтральних або лужних ґрунтах;

- виробляє антигрибкові антибіотики, які пригнічують ріст патогенних грибів у зоні коренів, зменшуючи смертність сіянців;

- популяція *Azotobacter* в ґрунті зазвичай низька через нестачу органічної речовини.

Синьо-зелені водорості (ціанобактерії) та Азола:

- належать до фототрофних організмів, які фіксують 20–30 кг Нітрогену/га у затоплених рисових полях;

- є важливим джерелом Нітрогену для вирощування рису в умовах низин.

Розчинювачі фосфатів:

- деякі бактерії (*Pseudomonas*, *Bacillus*, *Rhizobium*) здатні розчинити нерозчинні фосфатні сполуки, такі як трикальційфосфат або гідроксилапатит;

- ці бактерії зустрічаються переважно у ризосфері (зоні коріння), де їх концентрація значно вища, ніж у ґрунті нижче або навколо.

Біодобрива відіграють ключову роль у зменшенні залежності від синтетичних добрив і сприяють сталому сільському господарству, зберігаючи

екосистему та підвищуючи врожайність.

Поглиначі Фосфору (Мікориза). Термін "мікориза" означає "грибні корені". Це симбіотичний зв'язок між рослинами-хазяїнами та певною групою грибів у кореневій системі. Гриб отримує необхідний йому Карбон із продуктів фотосинтезу рослини-хазяїна, а рослина, у свою чергу, отримує важливі поживні речовини, такі як Фосфор, Кальцій, Мідь, Цинк тощо, які інакше були б недоступними. Це стає можливим завдяки тонким абсорбуючим гіфам грибів. Ці гриби асоціюються з більшістю сільськогосподарських культур, за винятком рослин із родин *Chenopodiaceae*, *Amaranthaceae*, *Caryophyllaceae*, *Polygonaceae*, *Brassicaceae*, *Commelinaceae*, *Juncaceae* та *Cyperaceae*.

Розчинювачі цинку. Фіксатори Нітрогену, такі як *Rhizobium*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, синьо-зелені водорості, і бактерії, що розчиняють фосфати, такі як *B. megaterium*, *Pseudomonas striata*, та мікориза, що мобілізує фосфор, широко визнані як біодобрива. Однак вони забезпечують лише основні поживні речовини. У ґрунті існує багато мікроорганізмів, здатних трансформувати мікроелементи, такі як Цинк, Залізо, Мідь тощо, які можуть бути використані як біодобрива.

Цинк може бути розчинений мікроорганізмами, такими як *B. subtilis*, *Thiobacillus thiooxidans*, та *Saccharomyces sp.*. Ці мікроорганізми можуть використовуватися як біодобрива для розчинення фіксованих мікроелементів, наприклад, Цинку. Дослідження показали, що *Bacillus sp.* (бактерії, що розчиняють Цинк) можуть застосовуватися як біодобрива для ґрунтів із високим вмістом природного Цинку або у поєднанні з нерозчинними, дешевшими сполуками цинку, такими як оксид Цинку (ZnO), карбонат Цинку ($ZnCO_3$) або сульфід Цинку (ZnS), замість дорогого сульфату Цинку [3].

1.2. Традиційні та інноваційні методи підвищення родючості ґрунту

Серед агротехнічних заходів, спрямованих на створення оптимальних умов для росту та розвитку сільськогосподарських культур, традиційно

використовують хімічні, мінеральні та органічні добрива. Їх дія триває декілька років і залежить від швидкості мінералізації органічних речовин у ґрунті.

Дослідження показали, що внесення хімічних добрив сприяє швидкому забезпеченню рослин необхідними елементами живлення, такими як Нітроген, Фосфор і Калій, які легко засвоюються кореневою системою. Це дозволяє досягти значного підвищення врожайності навіть на виснажених ґрунтах. Хімічні добрива мають здатність забезпечувати рослини поживними речовинами у стислі строки, що є важливим фактором у сучасному інтенсивному сільському господарстві [6].

Хімічні добрива відіграють важливу роль у підтримці продуктивності ґрунту, особливо в регіонах з низькою природною родючістю. Наприклад, застосування азотних добрив сприяє активному росту вегетативної маси, а фосфорні добрива забезпечують розвиток кореневої системи. Водночас калійні добрива покращують стійкість рослин до стресів, таких як посуха або низькі температури. Проте ефективність хімічних добрив залежить від типу ґрунту: на кислих і лужних ґрунтах частина поживних елементів може залишатися недоступною для рослин через хімічну фіксацію.

Незважаючи на швидку дію, надмірне використання хімічних добрив може викликати накопичення солей у ґрунті, що знижує його структуру і родючість у довгостроковій перспективі. Крім того, вони можуть змінювати мікробіологічний баланс ґрунту, що впливає на активність корисних мікроорганізмів. Для зниження таких негативних наслідків рекомендується комбінувати хімічні добрива з органічними, що дозволяє стабілізувати ґрунтову структуру та зберігати її природний баланс. Таким чином, використання хімічних добрив при раціональному підході сприяє інтенсифікації сільського господарства, але вимагає додаткових заходів для підтримки екологічної рівноваги.

Внесення мінеральних добрив забезпечує рослини необхідними елементами живлення, такими як Нітроген, Фосфор, Калій, Магній, Сірка та

інші мікроелементи. Це сприяє покращенню росту і розвитку рослин, підвищенню їхньої врожайності та якості продукції. Мінеральні добрива мають високу концентрацію поживних речовин, що дозволяє точно розраховувати їх кількість залежно від потреб культур і особливостей ґрунту. Такі добрива особливо ефективні на ґрунтах із низьким вмістом природних поживних речовин. Наприклад, Азотні добрива стимулюють ріст листової маси, Фосфорні – розвиток кореневої системи та покращення процесів цвітіння й плодоношення, а Калійні – підвищують стійкість рослин до посухи, шкідників і хвороб. Комбіноване використання мінеральних добрив із різними складовими дозволяє забезпечити рослини повним комплексом необхідних елементів живлення.

Проте надмірне застосування мінеральних добрив може призводити до деградації ґрунту, накопичення токсичних солей і забруднення навколишнього середовища. Особливо це стосується нітратів, які можуть потрапляти у підземні води або накопичуватися в рослинній продукції. Щоб уникнути таких негативних наслідків, рекомендовано використовувати мінеральні добрива в поєднанні з органічними або біологічними препаратами, які сприяють покращенню структури ґрунту і стабілізації його екологічного стану. Таким чином, мінеральні добрива залишаються важливим інструментом для підвищення врожайності за умови дотримання норм їх застосування та контролю за станом ґрунту [15].

Регулярне внесення органічних добрив, за даними багатьох досліджень, сприяє зміні кислотності ґрунту, підвищенню рівня насиченості основами та поліпшенню властивостей легких ґрунтів. У результаті таких дій збільшується вміст поживних елементів, необхідних для рослин. У той же час глинисті ґрунти менш ефективно реагують на органічні добрива через їх вищу щільність, проте вони також можуть бути поліпшені завдяки таким заходам [11].

Дослідження показали, що внесення органічних добрив значно покращує мікро- та макроструктуру ґрунту, його вологоутримуючі

властивості, пористість і проникність. Ґрунт, збагачений органічними речовинами, краще поглинає вологу з атмосферних опадів і ефективніше передає її рослинам. Також зменшується щільність ґрунту, що полегшує проникнення коріння рослин і поліпшує загальну структуру ґрунту [12].

Органічні добрива відіграють ключову роль у підтриманні позитивного балансу гумусу. Наприклад, залежно від характеристик ґрунту та якості добрив, із внесенням 1 тони органіки утворюється близько 42 кг гумусу в Поліссі та 54–56 кг у Лісостепу. Водночас близько 20–25% органічної речовини використовується для збільшення запасів гумусу, тоді як решта (75–80%) мінералізується мікроорганізмами для отримання енергії.

Застосування органічних добрив підвищує вміст нестійких форм гумусу та водорозчинних органічних речовин, які позитивно впливають на ріст і розвиток рослин. На кислих ґрунтах використання органічних добрив не лише покращує живлення рослин і знижує кислотність, але й сприяє активізації мікробіологічних процесів. Це, у свою чергу, значно підвищує здатність ґрунту до кальцифікації та поліпшує його родючість [4,16].

1.3. Потенційна роль біодобрив у сільському господарстві

Внесення біодобрив (нітрогенфіксаторів) відіграє ключову роль у підвищенні родючості ґрунту, покращенні ознак урожайності та, відповідно, кінцевого врожаю, що було підтверджено багатьма дослідниками. Крім того, їх застосування в ґрунті покращує ґрунтову біоту та мінімізує використання хімічних добрив.

У помірних умовах інокуляція *Rhizobium* покращила кількість стручків на рослину, кількість насіння у стручку та масу 1000 насінин, що позитивно вплинуло на врожай у порівнянні з контролем. У низинних умовах вирощування рису застосування синьо-зелених водоростей у поєднанні з *Azospirillum* виявилось ефективним у підвищенні індексу листової поверхні та всіх показників урожайності [7,8].

Ефективність фосфатних добрив є дуже низькою (15-20%) через їх фіксацію в кислих і лужних ґрунтах. Тому інокуляція бактеріями, що розчиняють фосфати, та іншими корисними мікробними інокулянтами в цих ґрунтах є необхідною для відновлення та підтримання ефективної мікробної популяції, що сприяє розчиненню хімічно зв'язаного фосфору та доступності інших макро- й мікроелементів, забезпечуючи сталий урожай різних культур [5, 9].

1.4. Роль мікроорганізмів у покращенні доступності поживних речовин у ґрунті

Роль різних типів мікроорганізмів *Rhizobium spp.* – це азотфіксуючі бактерії, які утворюються в коренях бобових і деяких небобових рослин. Це грампозитивні ґрунтові бактерії, які асимілюють атмосферний Нітроген і фіксують його в кореневих вузлах. Вони можуть досягати до 10^{11} клітин мікроорганізмів на грам кореня, що значно покращує продуктивність рослин.

Мікробіом – це сукупність геному мікробної спільноти ризосфери, яка є більшою за рослинну і взаємодії якої визначають здоров'я культури в природних агроєкосистемах. Він забезпечує численні послуги для рослин, такі як засвоєння поживних речовин, їхнє перероблення, розклад органічної речовини, боротьба з бур'янами та біологічний контроль. Дослідження показали, що терапія передачі мікробіому може відігравати значну роль у боротьбі з хворобами рослин для різних культур. Мікробні спільноти ризосфери викликають великий інтерес у контексті сталого сільського господарства.

Ціанобактерії (також відомі як синьо-зелені водорості) – це фотосинтезуючі, вільноживучі прокаріотичні організми, такі як *Nostoc*, *Anabaena*, *Plectoneta* тощо. Вони виробляють азотазу, і фіксація Нітрогену відбувається в гетероцистах, які виступають як захищені від кисню відділи.

Підготовка біодобрив із ціанобактерій:

- побудова відкритих резервуарів із оцинкованих залізних листів або цегли й цементу;
- додавання молібдату Натрію, суперфосфату, просіяного ґрунту та води; залишити на 24 години;
- нанесення стартової культури ціанобактерій на поверхню води;
- збір густої маси водоростей і її висушування.

Азотобактер – це вільноживучі, несімбіотичні азотфіксуючі бактерії, які можуть підвищити врожайність до 50%. Вони також виробляють речовини, корисні для росту рослин: антибіотики, рослинні гормони, вітаміни групи В, гіберелінову кислоту, які допомагають знищувати кореневі патогени й покращують проростання насіння.

Фосфатрозчинюючі мікроорганізми, такі як *Pseudomonas*, *Aspergillus*, *Bacillus*, забезпечують рослини фосфатами, які можуть бути використані культурами. Вони захищають рослини, хелатуючи залізо в зоні коріння.

Мікоризні гриби сприяють поглинанню води, підвищують стійкість до шкідників і патогенів, а також виживання в умовах токсичності важких металів і високих температур [13].

Переваги біодобрих перед хімічними:

- екологічна безпечність;
- економічна доступність;
- підвищення продуктивності;
- ефективність та доступність для дрібних фермерів.

Незважаючи на значний прогрес у технології біодобрих за останні роки, все ще існують обмеження, пов'язані з їхнім виробництвом і маркетингом [1].

РОЗДІЛ 2

МАТЕРІАЛИ, УМОВИ І МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ РОБОТИ

2.1. Місце та об'єкт дослідження

Місцем дослідження є сучасний дослідницький центр на базі Центру БТУ – «Інститут прикладної біотехнології», який займається поліпшенням властивостей біопрепаратів, технологій для використання в агроценозах, а також проводить лабораторні дослідження ґрунту, насіння і рослин для сільськогосподарських підприємств.

У лабораторії проводять наступні категорії експериментів:

- аналіз ґрунту (агрофізичні та агрохімічні показники; надання рекомендацій щодо застосування добрив; Розрахунок норм внесення добрив; система заходів щодо захоронення відходів для підвищення ефективності живлення рослин;
- аналіз добрив (якісний і кількісний хімічний склад; вміст поживних речовин; вміст домішок; заявлений склад і відповідність чинним стандартам);
- аналіз води (ґрунтової води з колодязів; природної води в джерелах, річках, озерах, ставках, тощо; водопровідної води (в квартирі, будинку, котеджі); бутильованої води; фільтрованої води; води для поливу);
- аналіз насіння (показники якості посіву насіння: сортова чистота, маса 1000 насінин, вологість, енергія проростання і схожість насіння, життєздатність).

Команда Інституту прикладної біотехнології складається з мікробіологів, біохіміків та техніків з більш ніж 35-річним досвідом роботи. Серед співробітників - 3 доктори сільськогосподарських наук, 10 кандидатів наук, лауреати Державної премії України в галузі науки і техніки, Лауреати Премії Президента України для молодих вчених. Інститут активно співпрацює з українськими науковими установами. Він співпрацює з УкрНДІПВТ ім. Л.

Погорілого, Вінницьким національним аграрним університетом, Хмельницькою державною с.-г. дослідною станцією, Інститутом кормів та сільського господарства Поділля (НААН), Інститутом сільського господарства Степу України (НААН) та багатьма іншими.

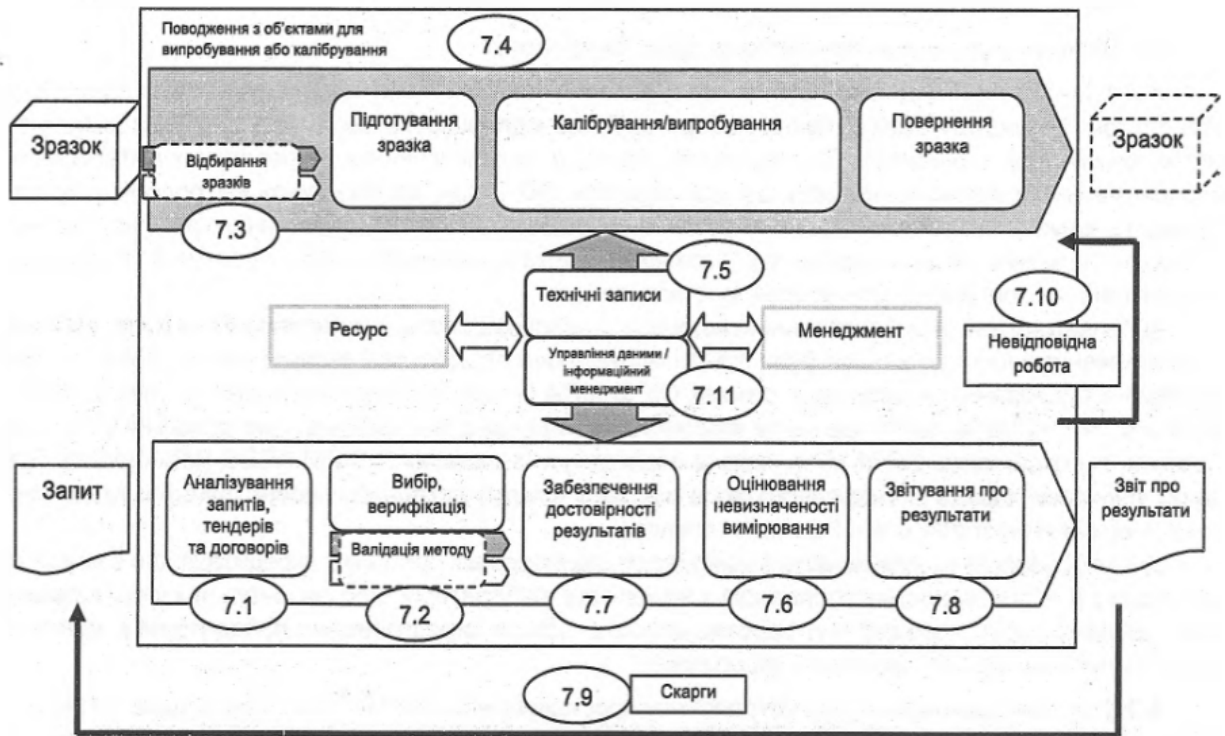


Рис. 1. Принципова схема роботи випробувальної лабораторії

Схема ілюструє процес проведення випробувань або калібрування зразків у системному підході у відповідності до ISO/IEC 17025 [27]. Процес роботи установи починається з отримання запиту (7.1), який аналізується для перевірки технічних вимог, а також для укладання відповідних договорів. Далі відбувається вибір методу, його верифікація та перевірка на відповідність поставленим цілям (7.2). Після цього зразок відбирається (7.3), готується до випробувань (7.4), проходить етап калібрування або аналізу (7.5), а потім повертається замовнику (7.4). У ході цих дій забезпечується достовірність отриманих результатів (7.7), виконуються процедури оцінювання невизначеності вимірювань (7.6), що критично важливо для підтвердження їхньої якості. Після завершення всіх операцій формується звіт про результати

(7.8), який передається замовнику. У разі виникнення скарг або проблем (7.9) відбувається їх розгляд, а також аналіз причин невідповідної роботи (7.10) для усунення помилок. На всіх етапах проводиться управління технічними записами (7.11) та ресурсами, що забезпечує простежуваність, контроль і високу якість виконання робіт. Уся система побудована таким чином, щоб гарантувати злагоджену роботу між процесами, управлінням і забезпеченням точності результатів.

2.2. Методика виконання роботи

З метою отримання даних для проведення дослідження в умовах підприємства були виконані лабораторні дослідження. Були використані методи, що дали змогу отримати показники мікробіологічного складу, та визначити й оцінити ефективність його застосування на певних сільськогосподарських культурах. Лабораторія, при наданні послуг та виконанні дослідів, випробувань, калібрувань, тощо, послуговується наступними нормами та стандартами: ДСТУ ISO 6491:2004, ДСТУ 4289:2004, ДСТУ 4405:2005, ДСТУ ISO 6497:2005, ДСТУ ISO 6496:2005, ДСТУ ISO 11508: 2005, ДСТУ 4729:2007, ДСТУ 4732:2007, ДСТУ 4731:2007, ДСТУ 4770.1:2007, ДСТУ 4770.2:2007, ДСТУ 4770.3:2007, ДСТУ 4770.4:2007, ДСТУ 4770.5:2007, ДСТУ 4770.6:2007, ДСТУ 4770.9:2007, ДСТУ 4730:2007, ДСТУ 4744:2007, ДСТУ 4745:2007, ДСТУ ISO 659:2007, ДСТУ ISO 10390:2007, ДСТУ 5095:2008, ДСТУ 7079:2009, ДСТУ 29144:2009, ДСТУ 7537:2014, ДСТУ 7863:2015, ДСТУ 7882:2015, ДСТУ 7942:2015, ДСТУ 7946:2015, ДСТУ 7947:2015, ДСТУ 7865:2015, ДСТУ 8454:2015, ДСТУ 7911:2015, ДСТУ 7949:2015, ДСТУ ISO 520:2015.

Методикою дослідження є визначення кислотності (рН-метрія), визначення текстури ґрунту та вологості, визначення характеристик композиції біодобрива – посіви та вирощування окремих мікроорганізмів на культуральних середовищах.

Для визначення рН ґрунту використовували стандартну методику згідно з ДСТУ ISO 10390:2022 [28]. Спочатку рН-метр калібрували у діапазоні рН (1–14) за допомогою стандартних буферних розчинів із рН 4, 7 та 9. 5 г просіяного та повітряно-сухого зразка ґрунту поміщали в паперовий стакан, після чого додавали 5 мл дистильованої води. Розчин перемішували протягом 15 секунд і залишали на 30 хвилин для стабілізації. Потім наконечник електрода рН-метра занурювали у розчин, і значення рН фіксували. Процедуру повторювали п'ять разів, після чого обчислювали середнє значення. Така ж процедура виконувалася після внесення добрив або збору врожаю для кожного експериментального циклу, а отримані середні значення реєстрували окремо.

Вологості (WHC) ґрунту визначали відповідно до ДСТУ Б В.2.1-2-96 [29]. Для цього вибирали ділянку (5 м × 5 м) на дослідній ділянці, де застосовували імпортований пісок. Обрану ділянку зволожували 20 літрами води для повного насичення ґрунту. Поверхню покривали поліетиленовою плівкою, щоб запобігти випаровуванню. Зразки ґрунту відбирали з центральної точки ділянки через 24 години після насичення для визначення вологості. Аналіз повторювали щодня, поки значення вологості не переставали суттєво змінюватися.

Розрахунок вологості здійснювали за допомогою формул:

- Маса порожнього контейнера для зважування зразка ґрунту - X
- Маса контейнера разом із зразком вологого ґрунту (після насичення водою) - Y
- Маса контейнера разом із зразком ґрунту після висушування в печі до постійної ваги - Z
- Вміст води в ґрунті: $Y-Z$
- Маса висушеного в печі ґрунту: $Z-X$

- Відсотковий вміст вологи:

$$\alpha = \frac{Y-Z}{Z-X} * 100 \quad (1)$$

Така ж процедура проводилася після збору врожаю для кожного циклу, а середні значення були представлені окремо.

Стандарти на виконання аналізів були використані як безпосередні методичні рекомендації для отримання експериментальних даних в умовах підприємства. Отримані дані були порівняні з даними контрольних зразків. Базуючись на отриманих даних порівняння, було проведено аналіз композиції біодобрив та вплив конкретних мікроорганізмів на показники продуктивності сільськогосподарських культур.

Проби для мікробіологічного контролювання відбирають асептично перед відбиранням проб для фізико-хімічних та органолептичних досліджень. Проби для мікробіологічного контролювання відбирають у стерильний посуд, використовуючи стерильне устаткування, та накривають стерильними накривками згідно стандарту. Посудина для проб має бути така, щоб її можна було повністю заповнити пробкою для того, щоб запобігти сколочуванню під час транспортування та давала змогу перемішати пробу перед контролюванням.

Готування поживних середовищ. Враховуючи можливу зміну рН поживних середовищ після кип'ятіння та стерилізації, під час приготування середовищ установлюють рН на 0,2 вище або нижче вказаного. Цю величину визначають експериментально для кожного середовища. Остаточний контроль рН проводять у готовому середовищі з використанням рН-метра (рідкі середовища) або паперових індикаторів з кроком діапазону не більше 0,2 (агаризовані середовища). Визначання виконують згідно з інструкцією з використання приладу або індикаторної системи.

Поживні середовища можна готувати із комерційного сухого середовища; у цьому разі треба дотримуватися настанов виробника; або ж із основних компонентів згідно стандарту.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Технологічна схема виробництва біодобрив

Виробництво біодобрив є складним багатоступеневим процесом, який вимагає врахування біологічних особливостей мікроорганізмів, фізико-хімічних властивостей середовища та дотримання високих стандартів якості на кожному етапі.

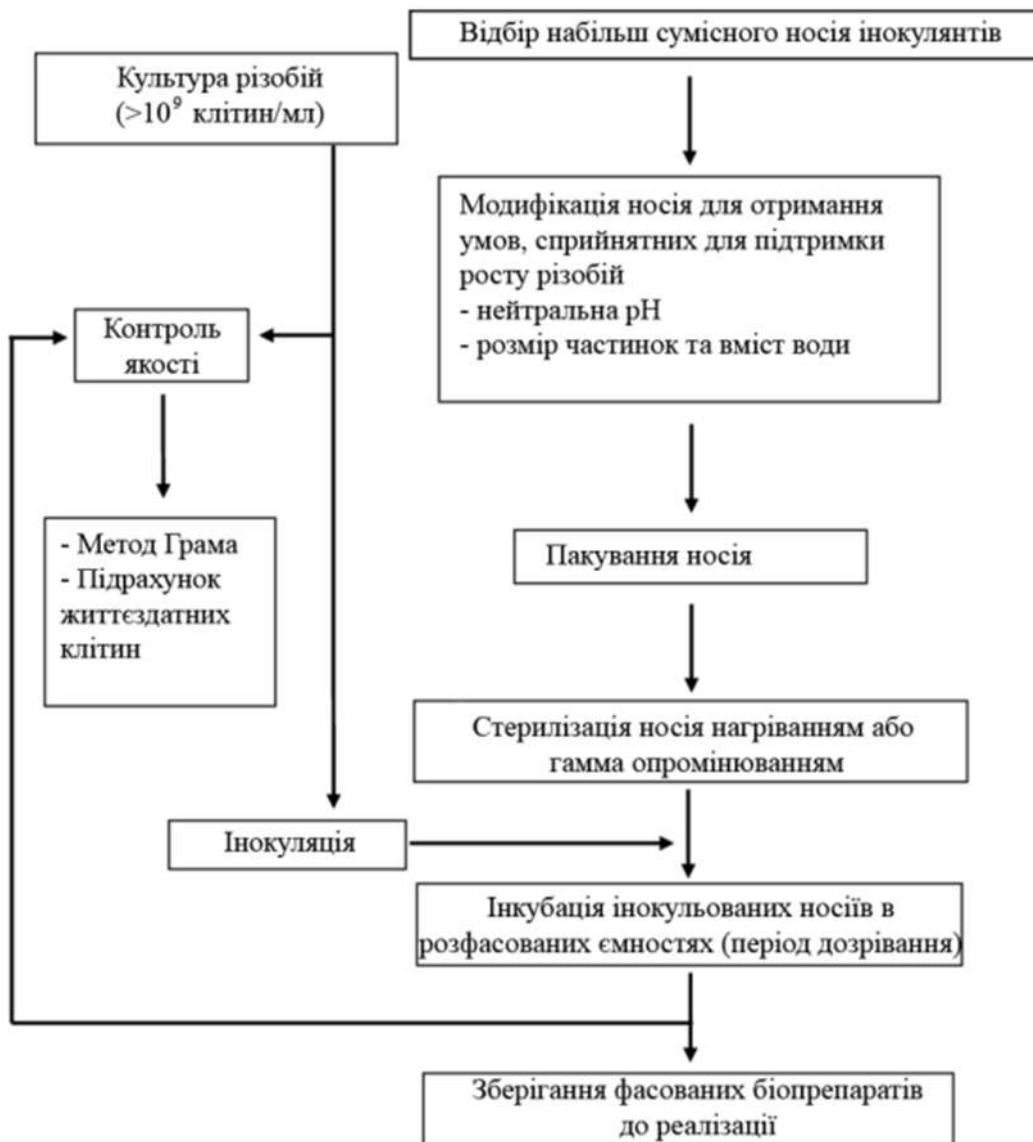


Рис. 2. Технологічна схема виробництва біопрепаратів

Одним із найважливіших аспектів є вибір оптимальних умов для забезпечення життєздатності мікроорганізмів та їхньої здатності ефективно функціонувати у ґрунтовому середовищі. Особливу увагу приділяють підготовці носія, який повинен відповідати таким критеріям, як нейтральна реакція, оптимальна вологість і розмір частинок, а також здатність підтримувати зростання мікроорганізмів. Важливим є також забезпечення стерильності носія перед інокуляцією, що досягається шляхом теплової чи радіаційної обробки.

Ключовим етапом виробництва є інокуляція носіїв активними мікроорганізмами, після чого відбувається період дозрівання в контрольованих умовах, спрямований на досягнення оптимального співвідношення мікробних популяцій. Сучасні підходи також передбачають контроль якості кінцевого продукту, який включає перевірку життєздатності клітин, стерильності та відповідності встановленим стандартам. Усе це є необхідним для отримання ефективного біопрепарату, здатного підвищувати родючість ґрунту та сприяти сталому сільському господарству. Технологічна схема цього процесу ілюструє основні етапи виробництва, підкреслюючи їхній взаємозв'язок і значення для забезпечення високої якості кінцевого продукту.

3.2. Загальна доступність поживних речовин при наявності біодобрив в ґрунті

Використання біодобрив – це використання мікроорганізмів для покращення якості ґрунту. Правильно підібрані комплекси мікроорганізмів здатні значно впливати на якість ґрунту. Існують декілька основних способів застосування біодобрив, що представлено на схемі

Поверхнева обробка насіння – покриття насіння спеціальним біопрепаратом, що сприяє кращій схожості та розвитку паростків.

Занурення коренів розсади – вмочування кореневої системи у рідкий розчин біоформуляту для покращення поглинання поживних речовин і

стимуляції росту

Внесення в ґрунт – забезпечує живлення кореневої системи і покращення структури ґрунту.

Позакореневе обприскування (фоліарне застосування) – спрямоване на підвищення стійкості рослин до стресових умов та стимуляцію ростових процесів.

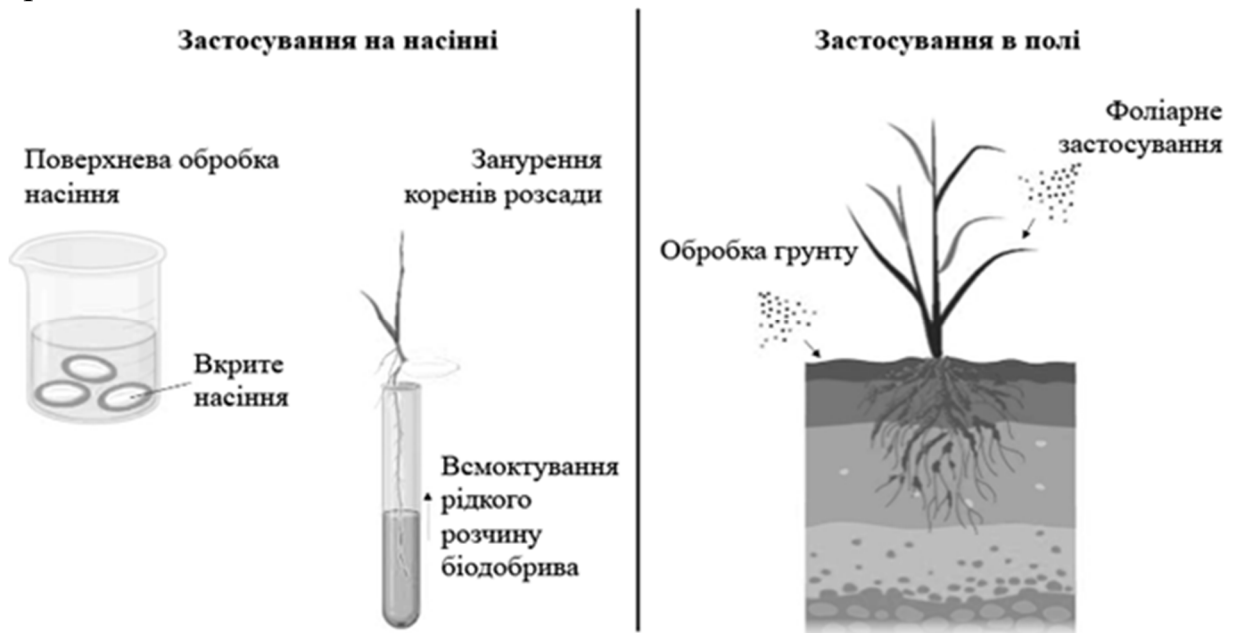


Рис. 3. Методи застосування біопрепаратів на рослини

Є два можливих шляхи покращити біорізноманіття мікрофлори ґрунту. Перший – пряме додавання мікробних культур в ґрунт, другий – підсилення вже існуючих мікробних популяцій ґрунту, за допомогою створення кращих умов. Таке покращення відбувається за допомогою біодобрив. Інокульовані в ґрунт мікроби мають здатність фіксувати поживні речовини. Можливі різні варіанти покращення різноманіття мікроорганізмів у ґрунті:

- використання мікробних культур, що можуть фіксувати поживні речовини;
- використання мікробних культур, що прискорюють обіг органічних речовин;
- використання мікробних культур, що мають антагонічні відносини

з патогенними мікроорганізмами та шкідливими ризобактеріями;

- використання мікробів, що виділяють гормони росту рослин;
- застосування мікробів, що мають можливість прискорити розкладання агрохімікатів та забруднювачів ґрунту;
- використання поліпшувачів кислотності ґрунту (нейтральна середа оптимальна для різних типів росту та розвитку мікробів) ;
- урізноманітнення культур з додаванням бобових та кормових, бобові культури виділяють в ґрунт велику кількість вуглецевого матеріалу, а їх ризосфера багата на різні мікроорганізми. Кормові культури ж, виробляють велику кількість біомаси коренів. Вирощування берсиму (єгипетська конюшина) виявляє позитивний вплив на фізичні та хімічні властивості ґрунту.
- використання методів збору врожаю, що залишають принаймні частину приземних рослин на поверхні ґрунту;
- методики зрошення рослин, що враховують мікроклімат ґрунту для мікроорганізмів. А саме, відведення зайвої води, використання дощової води для поливу, полив що знижує засоленість ґрунту;
- підвищення використання методів повторного використання ресурсів, такі як зелені та бурі добрива, органічне мульчування та постійні грядки.

Є певні перешкоди на шляху застосування цих методів. В першу чергу, відсутність або недостатня кількість швидкого прибутку. Також, менша помітність у короткостроковому покращенні зовнішніх характеристик культур. Непрямі методи покращення якості ґрунту мають певні економічні недоліки, тому їх тільки починають використовувати.

Вплив підвищення біорізноманіття мікрофлори на якість ґрунту перетинається з урізноманітненням джерел поживних речовин. Залишки рослин слугують живленням для мікроорганізмів, а мікроорганізми роблять поживні речовини у ґрунті доступніше і покращують їх колообіг. Додаткові

позитивні ефекти використання біодобрив такі:

- підвищення біорізноманіття сприяє розкладанню агрохімікатів та шкідливих виділень рослин, що робить ґрунт чистішим;
- іммобілізується частина добрив, через що вони довше зберігаються в ґрунті, і знижують втрати;
- зменшується кількість патогенних мікроорганізмів ґрунту, через антагоністичні відносини та конкуренцію за ресурси;
- покращується хімічний склад ґрунту, через звільнення частини фіксованих елементів. Найкраще демонструється при дослідженні вмісту Фосфору – його ефективність при використанні розчинних добрив не перевищує 15-20%, при цьому більша частина залишається у фіксованому вигляді [10].

Хімічні добрива підвищують кислотність ґрунту, що призводить до зменшення популяцій корисних мікроорганізмів у ґрунті. Натомість, біодобрива збільшують водоутримувальну здатність ґрунту, покращують органічну речовину, сприяють розвитку мікроорганізмів у ґрунті та мобілізують необхідні для росту рослин поживні речовини.

Було встановлено, що як хімічні, так і біодобрива є важливими сільськогосподарськими інструментами, які допомагають фермерам підвищувати врожайність їхніх господарств. Добрива протягом багатьох років використовувалися в сільськогосподарських практиках для покращення здорового росту культур, про що свідчать їхні значні ролі у збільшенні сільськогосподарського виробництва по всьому світу. Загальна поінформованість і доступність хімічних добрив зробили їх першим вибором фермерів порівняно з біодобривами. Однак негативний вплив хімічних добрив на ґрунт і природне середовище викликає велике занепокоєння. Ці впливи часто ускладнюють доступність життєво важливих поживних речовин, необхідних рослинам для здорового.

З часом такі наслідки зробили природний ґрунт і його поживні речовини вразливими, і їх подальше використання може значно нашкодити майбутній

сільськогосподарській діяльності. На основі цього дослідники нині зосереджуються на розробці різних технологій альтернативної підтримки вирощування культур, і застосування біодобрих не залишається поза увагою. Отже, ми розглянемо вплив біодобрих у порівнянні з впливом на деякі властивості ґрунту хімічних добрив.

Вплив біодобрих і хімічних добрив на деякі властивості ґрунту було досліджено з урахуванням трьох змінних параметрів, таких як концентрація добрив, концентрація піску та кількість насіння кукурудзи. Ці змінні досліджувалися щодо впливу на рН та водоутримувальну здатність ґрунту. У таблиці 1 наведено граничні умови незалежних змінних для біодобрих.

Таблиця 1

Незалежні змінні в обробці біодобривами

Фактор	Одиниця	Мінімальне значення	Максимальне значення
Біодобрива	г	10	60
Насіння кукурудзи	г	2,00	2,00
Кількість піску	г	2000	2000

У таблиці 2 наведено граничні умови незалежних змінних для обробки хімічними добривами.

Таблиця 2

Незалежні змінні в обробці хімічними добривами

Фактор	Одиниця	Мінімальне значення	Максимальне значення
Хімічні добрива	г	10	60
Насіння кукурудзи	г	2,00	2,00
Кількість піску	г	2000	2000

У таблиці 3 наведено граничні умови незалежних змінних контрольного досліду.

Таблиця 3

Незалежні змінні у контрольному варіанті

Фактор	Одиниця	Мінімальне значення	Максимальне значення
Добрива	г	0,00	0,00
Насіння кукурудзи	г	2,00	2,00
Кількість піску	г	2000	2000

Встановлено що, кількість насіння на горщик та кількість піску на горщик залишалися постійними відповідно до умов експерименту; проте концентрація добрив змінювалася в межах від 10 г до 60 г у встановлених межах умов, за винятком контрольного варіанту кукурудзи, де обробка проводилася без використання добрив.

Таблиця 4 представляє результати досліджених реакцій (рН і

водоутримувальної здатності), отриманих в результаті взаємодії незалежних змінних (концентрацій добрив, концентрацій ґрунту та кількості насіння кукурудзи на горщик) для біодобрив.

Таблиця 4

Результати експериментального дослідження незалежних змінних для обробки біодобривами

Повтори	Конц. добрив (г)	Насіння кукурудзи (г)	Кількість піску (г)	pH	Водоутримувальна здатність
1	60	2,00	2000	6,65	5,56
2	10	2,00	2000	6,71	5,33
3	60	2,00	2000	6,57	5,56
4	77,04	2,00	2000	6,7	5,47
5	35	2,00	2000	6,6	5,54
Середнє	-	-	-	6,65	5,49

Далі, у таблиці 5 наведено результати досліджених реакцій (pH і водоутримувальної здатності), отриманих в результаті взаємодії незалежних змінних (концентрацій добрив, концентрацій ґрунту та кількості насіння кукурудзи на горщик) для хімічних добрив. Середні значення pH, представлені в таблиці 4 і таблиці 5, показали, що жоден із двох видів добрив не спричинив значного негативного впливу на ґрунт з точки зору pH. Це підтверджується середніми значеннями pH після збору врожаю, які склали 6,7, 6,6 і 6,5 для обробки біодобривами, хімічними добривами та контрольного варіанту відповідно. Отже, було відзначено, що як значення pH до посадки, так і після неї знаходяться в межах (5,5 до 7,5), що відповідає специфікаціям, придатним для росту рослин.

Таблиця 5

**Результати експериментального дослідження незалежних змінних для
обробки хімічними добривами**

Повтори	Конц. добрив (г)	Насіння кукурудзи (г)	Кількість піску (г)	pH	Водоутримувальна здатність
1	10	2,00	2000	6,53	3,12
2	10	2,00	2000	6,55	3,15
3	60	2,00	2000	6,56	3,16
4	77,04	2,00	2000	6,8	3,13
5	35	2,00	2000	6,4	3,12
Середнє	-	-	-	6,61	3,14

Що стосується водоутримувальної здатності, середні значення, отримані для біодобрив (5,55), хімічних добрив (3,14) та контрольного варіанту (5,55), показують, що біодобрива та контроль не мали значного негативного впливу на водоутримувальну здатність ґрунту. З іншого боку, обробка хімічними добривами призвела до деякого зниження водоутримувальної здатності, хоча це зниження все ж залишалось в межах допустимих значень. Таким чином, біодобрива можуть позитивно впливати на здатність ґрунту утримувати воду, що є важливим для здорового росту рослин.

Можна зробити висновок, що як біодобрива, так і хімічні добрива не спричинили значних змін pH ґрунту. Однак хімічне добриво має негативний вплив на WHC, оскільки спостерігалось зниження його здатності утримувати воду в порівнянні з впливом біодобрив, що призвело до підвищення водоутримувальної здатності ґрунту порівняно з початковим станом.

3.3. Вплив біодобрих на мікоризу культурних рослин

При внесенні біодобрих у ґрунт їхні штами стикаються із серйозними труднощами, пов'язаними із конкуренцією з боку вже існуючих мікроорганізмів місцевого походження. Ці організми є невід'ємною частиною ґрунтової екосистеми, формуючи складну та стійку мікробіоту, яка розвивалася та адаптувалася до місцевих умов протягом багатьох років, а інколи й століть. Така конкуренція створює низку викликів для ефективного застосування біодобрих. Незважаючи на значний прогрес у розумінні цих процесів, наукові знання про взаємодії між ґрунтовими мікроорганізмами та вплив мікробів, що входять до складу біодобрих, на мікробні популяції ґрунту залишаються недостатньо вивченими. Це не дає змоги чітко передбачити результати внесення інокулянтів у кожному конкретному випадку, що особливо важливо для практичного використання в сільському господарстві.

Однак, попри наявні труднощі, у цій сфері спостерігається інтенсивний розвиток досліджень. Науковці з усього світу докладають значних зусиль для оцінки взаємозв'язків між інтродукованими мікроорганізмами та місцевою мікробіотою ґрунту. Ці дослідження охоплюють як короткострокові, так і довгострокові аспекти впливу біодобрих на мікробні угруповання, їхню структуру, функціонування та різноманітність. Наприклад, для аналізу таких взаємодій широко застосовуються сучасні методи, як-от вивчення біомаси ґрунтових мікроорганізмів, оцінка їхньої активності, аналіз структури та рівня різноманітності мікробних спільнот. Такі підходи дозволяють отримати глибші уявлення про складні екологічні процеси, які відбуваються у ґрунті після внесення біодобрих.

Дослідження демонструють, що інокуляція продуктами, які містять специфічні штами бактерій, сприятливих для росту рослин (БСРР), може чинити неоднорідний вплив на мікробіоту ґрунту. До таких бактерій належать, наприклад, флуоресцентні псевдомонади, симбіотичні азотфіксуючі бактерії, вільноживучі азотфіксатори, арбускулярні мікоризні гриби (АМГ) тощо.

Встановлено, що ефекти інокуляції можуть варіюватися від значного збільшення структури та різноманітності бактеріальної спільноти до її суттєвого зменшення. Наприклад, інокуляція штамми азотфіксуючих бактерій у деяких випадках збільшувала популяцію місцевих бактерій, а в інших – навпаки, значно скорочувала її чисельність. Навіть консорціями штамів демонстрували подібну варіативність впливу [14].

Окремі дослідження [18] також висвітлюють специфічний вплив інокулянтів на певні групи мікроорганізмів. Наприклад, симбіотичні азотфіксуючі бактерії здатні значно впливати на певні групи протеобактерій, виділяючи їх серед інших представників мікробної спільноти. У свою чергу, інокуляція АМГ показала високу специфічність у взаємодії з ґрунтовими бактеріями, що виявлялося у збільшенні чисельності окремих видів, пов'язаних із цими грибами. Також слід зазначити, що, хоча АМГ мають потенціал для значного збагачення ґрунтової біоти, вони можуть одночасно спричиняти зменшення видового багатства місцевих грибних угруповань у коренях рослин-хазяїв.

Ключовим моментом у забезпеченні ефективності біодобри є правильний відбір штамів мікроорганізмів, які повинні володіти характеристиками, що забезпечують їхню конкурентоспроможність у ризосфері. Наприклад, утворення біоплівки дає бактеріям змогу закріплюватися на коренях рослин і захищати себе від впливу несприятливих факторів. Ще одним важливим механізмом є здатність бактерій до активного переміщення в ґрунті, відомого як «роїння», що дозволяє їм ефективно освоювати нові ніші. Такі характеристики є критичними для успішного приживлення бактерій, що входять до складу біодобри.

Динаміка взаємодій між інтродукованими мікроорганізмами та місцевою мікробіотою також значною мірою залежить від інших компонентів ґрунтової екосистеми. Зокрема, значний вплив на ці процеси мають представники мезо- та мікрофауни, такі як нематоди чи голі амеби. Амеби, наприклад, є важливими «пастухами» ґрунтових бактерій, регулюючи їхню

чисельність і сприяючи переробці поживних речовин. Такі взаємодії можуть значно змінювати мікробні спільноти ризосфери, зокрема зменшуючи чисельність певних бактеріальних видів за присутності.

Сучасні наукові підходи, як-от метагеномний аналіз, у поєднанні з культурально-залежними методами, надають нові можливості для вивчення динаміки мікробних угруповань. Вони дозволяють визначати чисельність мікробних таксонів, але питання функціональної ролі цих мікроорганізмів все ще залишається відкритим. Наприклад, дослідження генів, які відповідають за ключові ферментативні процеси або інші функції, можуть значно розширити розуміння впливу інокулянтів на ґрунтову мікробіоту. Це, своєю чергою, сприятиме створенню біодобрих, спеціально розроблених для певних ґрунтових умов та видів рослин.

3.4. Аналіз урожайності основних культур залежно від застосування біодобрих

Внесок Нітрогену та Фосфору у ґрунт за допомогою фіксуючих ці речовини мікроорганізмів є важливим фактором покращення поживного потенціалу ґрунту. Це збільшення кількості поживних речовин дозволяє рослинам більше їх використовувати, що в свою чергу, покращує їх зростання. Також, покращення вмісту доступних органічних речовин у ґрунті, як результат використання біодобрих, має місце у покращенні стану ґрунтів [17].

Вивчаючи вплив поєднання *Azospirillum brasilense*, або *Rhizobium species*, з *Bacillus megaterium*, та *Glomus fasciculatum* на мікробну біомасу, Карбон, Нітроген та Фосфор при вирощуванні сорго та нута, дослідження виявило підвищення поживності ґрунту відносно контрольного зразка. Було обрано суглинистий ґрунт, з рН 8.4, мікробною біомасою Карбону в $9,6 \text{ мг/г}^{-1}$, Нітрогену – 5.37 мг/г^{-1} , Фосфору – 2.25 мг/г^{-1} , і популяцією *Azospirillum* у 24 КУО/г^{-1} . Максимальне підвищення використання біодобрих було на 50%, при використанні рекомендованого добрива разом з біодобрихом. Це було

пов'язано з підвищеним вбиранням Нітрогену й Фосфору рослинами, що в свою чергу вказує на важливу роль мікроорганізмів у цьому процесі. Порівняння трьох різних експериментів подовженістю в 30, 60 днів та до періоду збору, виявило, що використання рослинами Нітрогену й Фосфору найбільше помітне при 30 днях, та при збиранні врожаю. При зростанні культур, було помічено відповідне зниження біомаси Карбону в ґрунті, а також Нітрогену й Фосфору. Додатковий ефект додавання *Azospirillum* в сорго, *Rhizobium* в нут і *Bacillus* та *Glomus* в обидві культури спостерігався при застосуванні одиночної або подвійної інокуляції, подвійна показала найкращі результати. Підвищення врожайності завдяки інокуляції можна також пов'язати з такими факторами як:

- підвищення нітрогену мікроорганізмами, та ефектом його переносу від попередніх культур;
- позитивним ефектом інокуляції в поєднанні з внесенням органічних добрив (перегній);
- ефект поєднання двох та більше мікроорганізмів, та підвищення вбирання рослинами Фосфору за допомогою мікроорганізмів, що його розчиняють.

Було помічено довгостроковий ефект *Pseudomonas aeruginosa GRC 1* на врожайності рису, що сівозмінює оброблену на стадії насіння гірчицю.

Було оцінено ефект чотирьох біодобрив, як бактеріальних так і мікрогрибкових, а саме *Glomus mosseae* або *Glomus intraradices* з або без *Azotobacter chroococcum*, *Bacillus megaterium*, та *Bacillus mucilaginous* на властивості ґрунту та ріст *Zea mays* (Кукурудза звичайна). Початкові властивості ґрунту були такі: рН - 5.46, вміст органіки - 1.08%, загальний Нітроген - 0.062%, загальний Калій - 7.408 мг/кг⁻¹, загальний Фосфор - 1.090 мг/кг⁻¹, доступний Фосфор (NaHCO₃-екстрагований) - 2.78 мг/кг⁻¹, та водорозчинний Калій – 13.43 мг/кг⁻¹. Порівняння застосування двох типів біодобрив було проведено з використанням контрольного зразку ґрунту, ґрунту обробленого хімічними добривами, та органічними добривами. Такі

властивості ґрунту як вміст органічної матерії та загальний Нітроген у ґрунті значно підвищилися інокульованою мікробіотою. Грибок арбускулярної мікоризи, *Glomus mosseae*, мав вищий показник інфікування кореневої системи в присутності інокульованих мікроорганізмів. Однак, високе інфікування цим грибом показує сильне інгібування діяльності мікроорганізмів, що розчиняють Фосфор та Калій - *B. Megaterium* та *B. Muculeginous* відповідно. Поєднання бактеріальних добрив та грибків арбускулярної мікоризи підвищило вміст органіки до 75% порівняно з неінокульованим ґрунтом. Помітний зв'язок між вмістом органічної матерії в ґрунті та сухою біомасою рослин, що може вказувати на вплив процесу росту рослин, а також корневих виділень на вміст органічної матерії у ризосфері, що відбувається завдяки метаболізму коренів. Це дослідження також показало, що зменшення кількості біодобрив в два рази, мало схожі ефекти у порівнянні з використанням органічних або хімічних добрив. Нестача поживних речовин у ґрунті результувала збільшенням популяції Нітроген-фіксуючих бактерій та арбускулярно-мікоризних грибків.

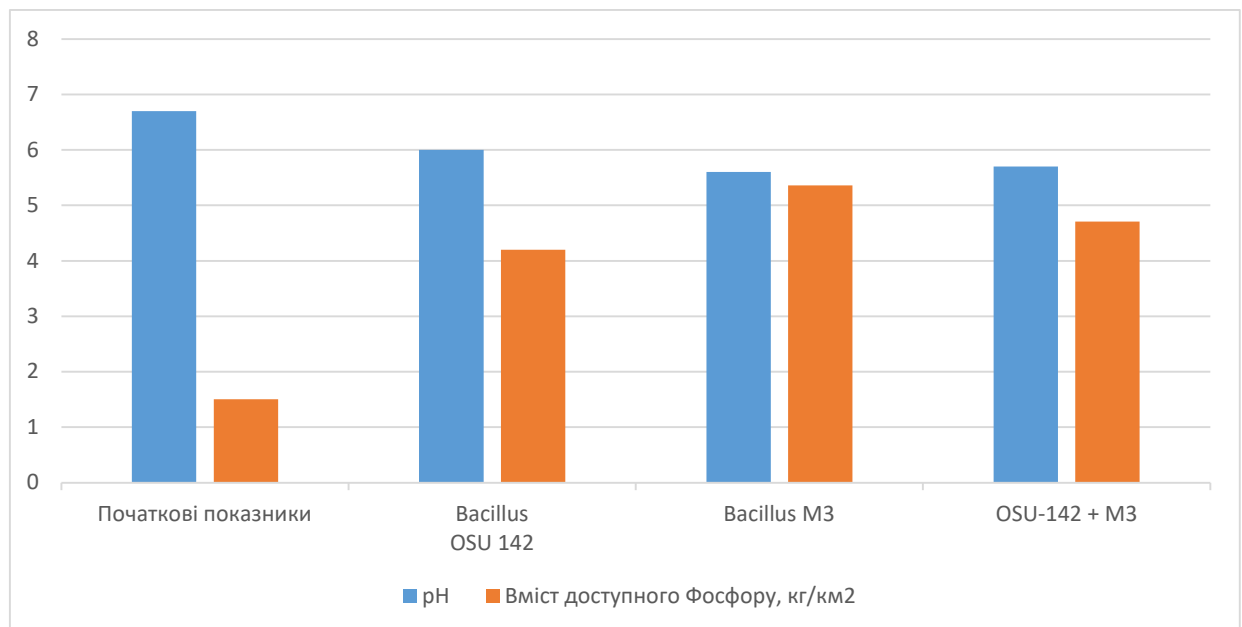


Рис. 4. Показники рН та вмісту доступного Фосфору при застосуванні різних мікроорганізмів

Дослідження, спрямоване на вивчення властивості покращення росту рослин двох штамів *Bacillus* – *OSU 142* (N_2 - фіксуєчий), та *M3* (N_2 – фіксуєчий та фосфаторозчинний), застосованих окремо або в комбінаціях на першорічну органічно вирощену плодючу малину, показало, що загальний вміст Нітрогену, доступного Фосфору, Калію, Магнію, Феруму, Мангану та Цинку, а також рН ґрунту були значно змінені. Вміст доступного Фосфору у ґрунті підвищувався при всіх варіантах обробки, досягаючи максимуму у 5.36

кг P_2O_5 на $км^2$ для *M3*, та 4.71 кг P_2O_5 на $км^2$ для *OSU-142* + *M3* (1.55 кг P_2O_5 на $км^2$ на початку дослідження). Ґрунтова рН знизилася з 6.7 до 6.0 при використанні *OSU-142*, до 5.6 при використанні *M3*, і до 5.7 при використанні *OSU-142* + *M3*. Таке зниження спричинено здебільшого продукуванням органічних кислот, та ензимних фосфатів. Використання штамів ризобактерій, що покращують ріст рослин, також показують значний вплив на вміст Калію, Кальцію, Магнію, Заліза та Цинку у ґрунті. Зниження рН та підвищення мінералізації органічного комплексу вважаються параметрами, що сприяють доступності мінеральних поживних речовин у ґрунті.

У експерименті в горщиках спостерігалось, що біодобриво, з трьома місцевими ізолятами ціанобактерій, використане на органічно бідний глинисто-супіщаний ґрунт напівпустельної зони (0,35% органічного вуглецю і 0,06% азоту), призвело до суттєвого підвищення загального органічного Карбону, загального Нітрогену, та $PO_4^{3-}P$ на середній стадії дослідження, (досягаючи 50%, 15% та 45% відповідно, в порівнянні з необробленими зразками). Однак, на більш пізніх стадіях експерименту, цей ефект нівелювався. Підвищений загальний органічний Карбон в оброблених зразках може бути наслідком автотрофної природи ціанобактерій, що синтезують додаткову органічну матерію в ґрунт. Біодобриво покращує мінералізацію Карбону та Азоту, сприяючи мікробній активності, та знижуючи співвідношення Карбону до Натрію. Ефект біодобрива на катіонообмінну здатність ґрунту став значно помітніший з часом. Використання біодобрива з

ціанобактерій призвело до зниження густини ґрунту, та до підвищення його властивості утримувати воду. Нативні штами показали значний потенціал покращення структурної стабільності, стану поживних речовин, та продуктивність ґрунту при обмеженому доступі води. Вірогідно, що покращення агрегації ґрунту пов'язане з продукуванням полісахаридів мікроорганізмами. Це дослідження показало, що, попри попередню думку про необхідність високої вологості ґрунту для сприятливого росту ціанобактерій, навіть за умов обмеженого водного режиму біодобрива показали досить хороші результати.

У таблиці 6 наведено перелік видів мікроорганізмів, які використовуються як біодобрива, їх рід, рослини-носії та ефекти, які вони забезпечують. Мікроорганізми з різних філумів, таких як *Actinobacteria*, *Firmicutes*, *Proteobacteria*, *Ascomycota*, *Glomeromycota* та *Cyanobacteria*, сприяють зростанню рослин, підвищують стійкість до стресових факторів, покращують фіксацію азоту, розчиняють фосфор та калій і діють як засоби біоконтролю. Це підкреслює різноманітні ролі біодобрив у підвищенні ефективності використання поживних речовин і стійкості рослин.

Таблиця 6

Мікроорганізми для біодобрив

Тип	Рід	Носій	Користь
1	2	3	4
<i>Actinobacteria</i>	<i>Arthrobacter</i> , <i>Brevibacterium</i> , <i>Corynebacterium</i> , <i>Kocuria</i> , <i>Micrococcus</i> , <i>Mycobacterium</i> , <i>Rhodococcus</i> , <i>Streptomyces</i> , <i>Haloglycomyces</i> , <i>Actinopolyspora</i> , <i>Amycolatopsis</i> , <i>Prauserella</i>	Кукурудза, горох, рис, соя, цукрова тростина, соняшник, пшениця.	Підвищують енергію рослин і стійкість до біотичного та абіотичного стресу. Підвищення ефективності використання поживних речовин.

1	2	3	4
<i>Proteobacteria</i>	<i>Allidiomarina,</i> <i>Marinobacter,</i> <i>Aquisalimonas,</i> <i>Microbulbifer,</i> <i>Marinobacterium,</i> <i>Pseudomonas, Salicola,</i> <i>Deleya, Halomonas,</i> <i>Marinospirillum,</i> <i>Methylophaga,</i> <i>Achromobacter,</i> <i>Alcaligenes, Rhizobium,</i> <i>Albimonas, Paracoccus,</i> <i>Pantoea, Enterobacter,</i> <i>Kluyvera, Azospirillum,</i> <i>Methylobacterium,</i> <i>Arcobacter,</i> <i>Oceanibaculum,</i> <i>Fodinicurvata,</i> <i>Altererythrobacter,</i> <i>Glycocalis,</i> <i>Xanthobacter,</i> <i>Bradyrhizobium,</i> <i>Amorphus,</i> <i>Sinorhizobium</i>	Амарант, ячмінь, квасоля, гречка, бавовник, вігна, кукурудза, просо, гірчиця, овес, горох, рис, соя, соняшник, томат, пшениця	Підвищують енергію рослин (стимулятори росту), фіксацію азоту, розчинення поживних речовин.

Продовж. Табл. 6

1	2	3	4
<i>Ascomycota</i>	<i>Trichoderma</i> , <i>Penicillium</i> , <i>Fusarium</i> , <i>Phoma</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Phomatropica</i> , <i>Acremonium</i>	Садові, плодові та лісові культури	Біологічне розкладання
<i>Glomeromycota</i>	<i>Glomus</i> , <i>Gigaspora</i> , <i>Acaulospora</i> , <i>Scutellospora</i> , <i>Sclerocystis</i> , <i>Laccaria</i> , <i>Pisolithus</i> , <i>Boletus</i> , <i>Amanita</i> , <i>Pezizella</i> .	Садові, плодові та лісові культури	Фосфатомобілізація
<i>Cyanobacterias</i>	<i>Asterocapsa</i> , <i>Chroococcus</i> , <i>Gloeocapsa</i> , <i>Microcystis</i> , <i>Synechococcus</i> , <i>Rhabdoderma</i> , <i>Merismopedia</i> , <i>Aphanocapsa</i> , <i>Pseudanabaena</i> , <i>Komvophoron</i> , <i>Oscillatoria</i> , <i>Lyngbya</i> , <i>Phormidium</i> , <i>Nostoc</i> , <i>Anabaena</i> , <i>Scytonema</i>	Квасоля, кукурудза, рис.	Фіксація азоту, біоремедіація.

У таблиці 7 наведено різні бактерії, що сприяють росту рослин (PGPR),

типи фітогормонів, які вони продукують, та відповідні рослини, на які вони впливають. Серед фітогормонів виділяються АСС-дезаміназа, індол-3-оцтова кислота, цитокініни, абсцизова кислота та гібереліни, які відіграють ключову роль у стимуляції росту рослин. Таблиця підкреслює значення різних бактерій, таких як *Pseudomonas putida*, *Bacillus spp.*, *Herbaspirillum seropedicae*, та їхню здатність підтримувати розвиток культур, як-от томат, кукурудза та огірок.

Таблиця 7

Фітогормони, що продукуються бактеріями

Бактерія	Фітогормон	Рослина
1	2	3
<i>Pseudomonas putida</i>	АСС дезаміназа	Томат
<i>Bacillus circulans</i>	АСС дезаміназа	Гірчиця
<i>Achromobacter xylosoxidans</i> , <i>Enterobacter Cloacae</i>	АСС дезаміназа, Гетероауксин	Кукурудза
<i>Bacillus spp.</i>	АСС дезаміназа, Гетероауксин, Екзополісахариди	Рис
<i>Pseudomonas putida</i>	Гетероауксин	Канола
<i>Herbaspirillum seropedicae</i>	Гетероауксин	Туласі (<i>Ocimum sanctum</i>)
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> <i>QST713</i>	Гетероауксин, Екзополісахариди	Люцерна (<i>Medicago sativa L.</i>)

1	2	3
<i>Bacillus</i>	Цитокініни	Огірок
<i>Pseudomonas BA-8</i>	Цитокініни	Полуниця
<i>25Acinetobactersp.</i> <i>ALEB16</i>	Абсцизова кислота	<i>Atractylodes lancea</i>
<i>Bacillus sp.</i>	Гібереліни	Вільха
<i>Sphingomonas</i>	Гібереліни	Томат
<i>Bacillus</i>	Гібереліни	Перець

У таблиці 8 представлено приклади бактерій, що стимулюють ріст рослин, здатні розчиняти фосфор, калій, а також продукувати сидерофори для різних сільськогосподарських культур. Таблиця класифікує ці бактерії за трьома основними механізмами: розчинення фосфору, розчинення калію та продукція сидерофорів. Сидерофори є важливим показником, оскільки вони сприяють підвищенню стійкості рослин до умов стресу, та патогенів. Ці сполуки беруть участь у формуванні симбіотичних взаємодій між рослинами та ґрунтовими мікроорганізмами.

Для кожної функції наведено відповідні штами бактерій, такі як *Bacillus spp.*, *Pseudomonas spp.*, *Rhizobium*, та їх вплив на різні культури (картопля, пшениця, соя, кукурудза, тощо). Це підкреслює важливість PGPR у підвищенні доступності поживних речовин для рослин.

Приклади бактерій, що продукують сидерофори та солюбілізують фосфати і калій, у різних культурах

Механізм / функція	Ризобактерії-стимулятори росту рослин	Культура
1	2	3
Солюбілізація фосфатів	<i>Bacillus sp.</i> , <i>Pseudomonas sp.</i> , <i>Serratia sp</i>	Картопля (<i>Solanum tuberosum</i>)
	<i>Azospirillum</i> , <i>P. putida</i> , <i>Stenotrophomonas maltophilia</i> , <i>chryseobacterium</i>	Пшениця (<i>Triticum aestivum</i> L)
	<i>Bacillus sp.</i> , <i>Klebsiella sp.</i> , <i>Pseudomonas sp.</i>	Нут (<i>Cicer arietinum</i>)
	<i>Herbaspirillum spp.</i> , <i>Bacillus spp.</i>	Коров'ячий горох (<i>Vigna unguiculata</i>)
	<i>B. safensis</i> , <i>B. simplex</i> , <i>Lysinibacillus fusiformis</i> , <i>B. pumilus</i>	Соя (<i>Glycine max</i>)
	<i>S. marcescens</i> , <i>Pseudomonas sp</i>	Рис (<i>Oryza sativa</i>)
	<i>P. brassicacerum</i> , <i>Acinetobacter calcoaceticus</i> , <i>P. marginalis</i>	Томат (<i>Solanum lycopersicum</i>)

1	2	3
Солюбiлiзацiя калiю	<i>Pseudomonas sp.</i> , <i>Acinetobacter sp.</i> , <i>bacillus sp.</i>	Квасоля
	<i>B. subtilis</i> , <i>K. oxycota</i>	Кукурудза
	<i>Rhizobium sp.</i>	Бiб кiнський
	<i>Bacillus</i> , <i>Pseudomonas sp.</i>	Сорго
	<i>B. circulans</i>	Апельсин
	<i>Pseudomonas sp.</i> , <i>Rhizobium</i> , <i>Mesorhizobium</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Azotobacter sp.</i>	Бобовi та не бобовi рослини
Продукування сидерофор	<i>Bacillus sp. KB129</i> , <i>KB133</i>	Сорго
	<i>V. paradox RAA3</i>	Пшениця
	<i>Azotobacter sp. Az63</i> , <i>Az69 and Az70</i>	Кукурудза
	<i>Rhizobacteria sp.</i>	Бобовi культури
	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> <i>RON14</i>	Перець
	<i>Bacillus amyloliquefaciens FZB42</i>	Гусимка (<i>Arabidopsis</i>)

Наведені далі діаграми демонструють кількісний внесок різних груп мікроорганізмів у біологічну фіксацію атмосферного азоту. Дослідження охопило вільноживучі бактерії, симбіотичні азотфіксатори та синьо-зелені водорості. Для вільноживучих, як показано на рисунку 5, найефективнішими є мікроорганізми роду *Azotobacter*. При цьому, для богарних культур, кількість фіксованого Нітрогену ставала навіть більше.

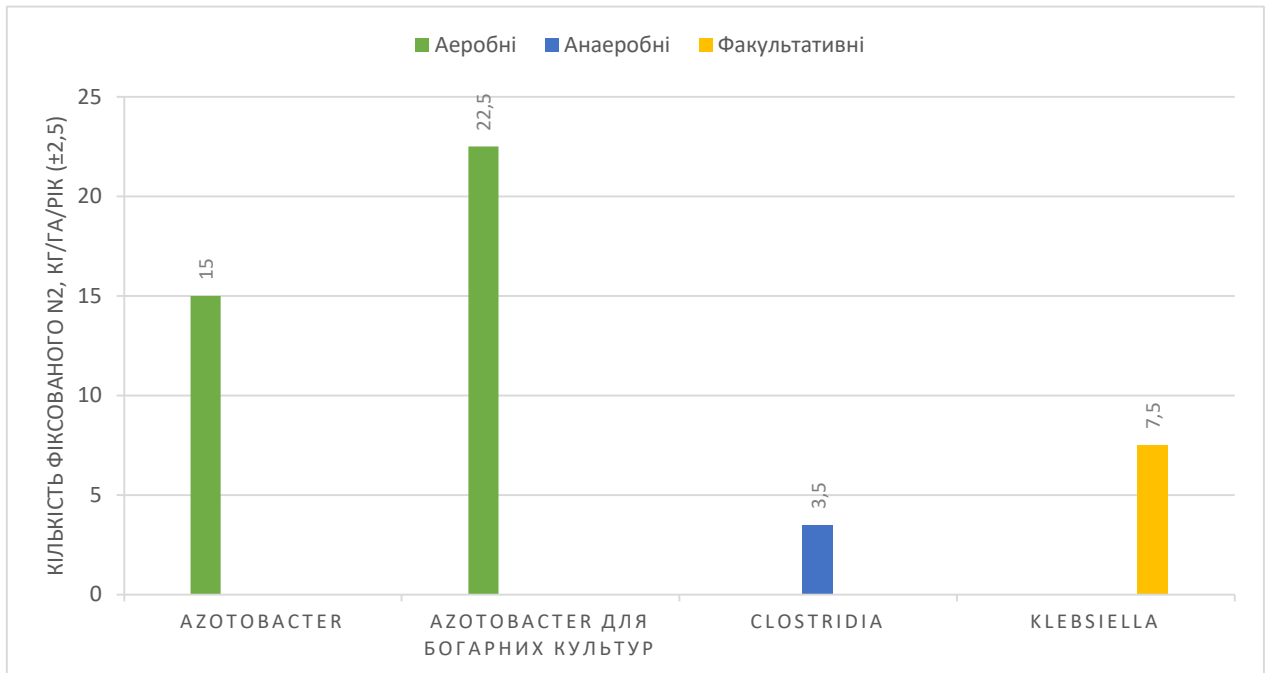


Рис. 5. Кількість фіксованого вільно живучими мікроорганізмами азоту

Серед симбіотичних мікроорганізмів, як показано на рисунках 6 і 7, найбільш ефективно фіксують азот бактерії роду *Rhizobia*, (для бобових культур) а також симбіотичні ціанобактерії *Anabaena* (для рису).

При цьому, в присутності ціанобактерій роду *Azolla*, *Anabaena* значно менш ефективні, й *Azolla* їх сильно випереджають.

Таблиця 9 ілюструє вплив різних видів мікоризних грибів на продуктивність рослин, зокрема їх здатність покращувати поглинання поживних речовин, стимулювати ріст та розвиток, а також підвищувати

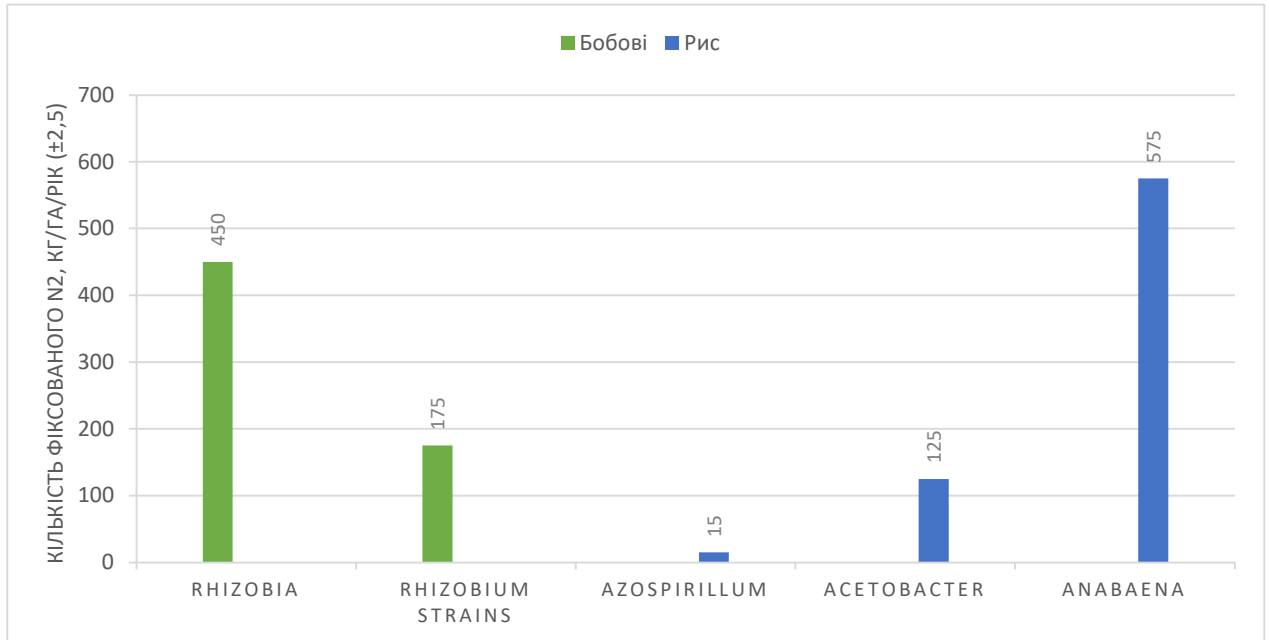


Рис. 6. Кількість фіксованого симбіотичними мікроорганізмами азоту

стійкість до абіотичних та біотичних стресів. Завдяки взаємодії з рослинами мікоризні гриби сприяють адаптації до несприятливих умов, таких як

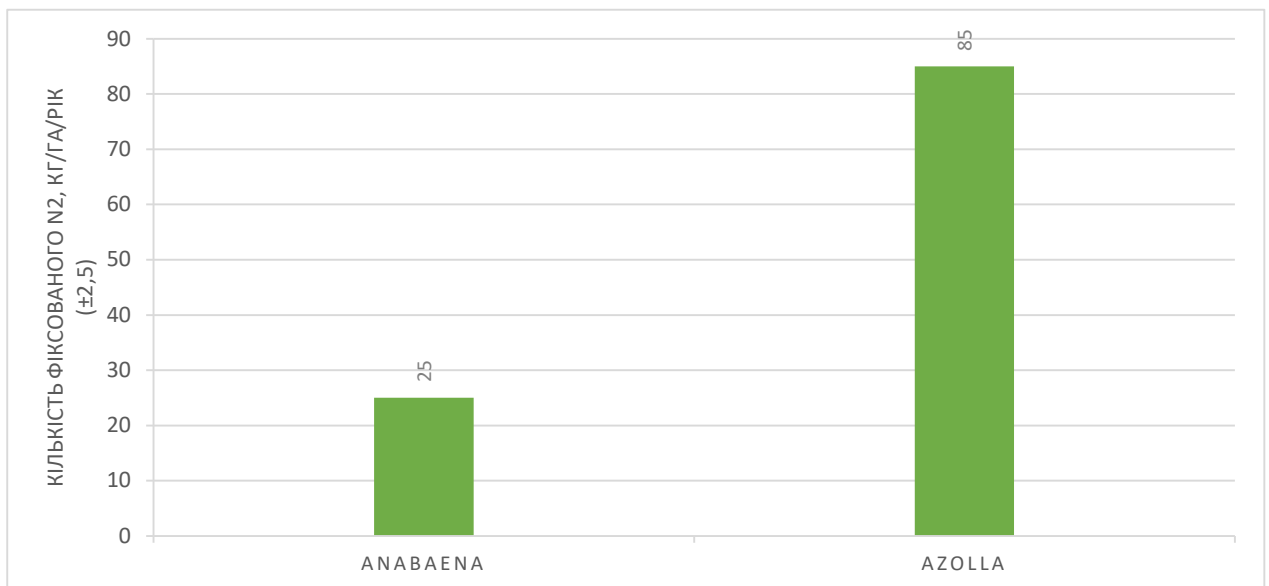


Рис. 7. Кількість фіксованого ціанобактеріями азоту

забруднення ґрунту важкими металами, дефіцит поживних речовин чи

сольовий стрес, що робить їх перспективними біоагентами для екологічного землеробства.

Таблиця 9

Вплив певних мікроорганізмів на мікоризу та організм рослини

Мікоризні грибки	Внесок у продуктивність рослин
1	2
<i>Glomusetunicatum</i>	Посилення вегетативного росту, хлорофілу та рівня поживних речовин у кукурудзі
Чужеродні АМГ	Збільшена біомаса коренів і пагонів <i>Juniperus oxycedrus</i> , навіть за наявності стресу оточуючого середовища
<i>Vignaradiata</i>	Позитивний вплив на азот, калій, фосфор, і вміст білка в зеленому зерні
Некротрофічні мікоризні види	Підвищити рівень поживних речовин і захистити рослину від шкідників (наприклад, попелиці).
АМГ	Зниження концентрацію кадмію в рослинах, що вирощуються у забруднених кадмієм ділянках, тим самим підвищуючи їх продуктивність

1	2
<i>Glomus intraradices</i>	Мікоремедіація цинку з середовища <i>Medicago truncatula</i> , результуюча у покращенні росту та розвитку рослини
<i>Glomus mosseae</i>	Підвищення врожайності пшениці навіть під час стресу
<i>Glomus spp.</i> , інокульований з <i>Mortierella sp</i>	<i>G. aggregatum</i> або <i>G. mosseae</i> при інокуляції <i>Mortierella sp.</i> мали значний вплив на суху вагу пагона та кореня <i>Kosteletzkya virginica</i> при наявності сольового стресу
<i>Acaulosporalacunosa</i> та <i>Glomus constrictum</i>	Покращення позакореневого живлення цибулі
АМГ	Покращена здатність сої поглинати поживні речовини і, як наслідок, підвищення врожайності

3.5. Економічна ефективність використання біодобрив

Для дослідження ефективності використання біодобрив було обрано кукурудзу, та інокулянти родів *Azotobacter* та *Azospirillum*.

Таблиця 10 ілюструє економічні показники вирощування кукурудзи при використанні різних біодобрив, таких як *Azotobacter* та *Azospirillum*, а також їх комбіноване застосування. Основними показниками для оцінки ефективності були витрати на вирощування, валовий дохід, чистий дохід та співвідношення

вигода:витрати.

Окреме застосування біодобрив: обробка насіння кукурудзи *Azotobacter* (25 кг/га) дала валовий дохід у розмірі 60,188.97 грн/га та чистий дохід 39,996.93 грн/га, що забезпечило співвідношення В:С на рівні 1.98. Використання *Azospirillum* (25 кг/га) показало менші економічні показники порівняно з *Azotobacter*, де чистий дохід становив 29,615.54 грн/га, а співвідношення вигода:витрати було на рівні 1.46. Це вказує на дещо меншу ефективність *Azospirillum* як окремого біодобрива порівняно з *Azotobacter*, що, ймовірно, пов'язано з різними біологічними характеристиками цих бактерій і їх здатністю стимулювати ріст кукурудзи.

Комбіноване використання біодобрив: застосування суміші *Azotobacter* (12.5 кг/га) та *Azospirillum* (12.5 кг/га) показало найвищі економічні результати. Валовий дохід склав 144,420.60 грн/га, чистий дохід — 102,245.60 грн/га, а співвідношення вигода:витрати досягло значення 2.42. Це свідчить про високу ефективність комбінованого використання цих двох культур, ймовірно, завдяки синергетичному ефекту, коли бактерії взаємодіють між собою, покращуючи загальний вплив на ріст рослин.

Контрольна група: у контрольному варіанті, де не використовувалися біодобрива, валовий дохід становив 94,213.40 грн/га, чистий дохід — 54,313.00 грн/га, а співвідношення В:С склало 1.36. Це найнижчий показник серед усіх варіантів, що підкреслює важливість біодобрив для підвищення економічної ефективності вирощування кукурудзи. Отже, впровадження біодобрив у сільське господарство може значно підвищити прибутковість і рентабельність вирощування культур.

Вплив біодобрив та органічних рідких поживних речовин на економіку вирощування кукурудзи

Обробка	Вартість вирощування (грн/га)	Валовий дохід (грн/га)	Чистий дохід (/га)	Співвідношення В:С (вигода:витрати)
1. <i>Azotobacter</i> (25 г/кг)	20192,5 3	60188,97	39996,93	1.98
2. <i>Azospirillum</i> (25 г/кг)	20 204,77	49820,22	29615,54	1.46
3. <i>Azotobacter</i> (12.5 г/кг) + <i>Azospirillum</i> (12.5 г/кг)	42,175.0 0	144,420.60	102,245.60	2.42
Контроль	39,900.0 0	94,213.40	54,313.00	1.36

Таблиця 11 демонструє фізіологічні параметри росту кукурудзи, зокрема висоту рослини, суху масу, швидкість росту та відносну швидкість росту при використанні різних біодобрив.

Висота рослини: найвища висота була зафіксована у варіанті з сумішшю *Azotobacter* та *Azospirillum* (172.43 см). Окреме застосування *Azospirillum* (163.73 см) також призвело до значного збільшення висоти рослини порівняно з контролем (160.47 см). Це свідчить про позитивний вплив біодобрив на розвиток вегетативної маси рослин, оскільки бактерії здатні підвищувати доступність поживних речовин, зокрема азоту, сприяючи кращому росту.

Суша маса рослини: суша маса є важливим показником накопичення біомаси та загального розвитку рослини. Найвища суша маса була зафіксована в варіанті з сумішшю біодобрив (135.93 г), тоді як *Azospirillum* забезпечив 113.42 г. Контроль мав найнижчий показник (95.00 г). Це підкреслює важливість біодобрив у підвищенні біомаси рослин, що має значення для загальної врожайності.

Швидкість росту: комбінований варіант біодобрив показав найбільшу швидкість росту (9.45 г/м²/день), що значно перевищує показники контролю (7.12 г/м²/день). Це може вказувати на оптимізоване використання поживних речовин при поєднанні *Azotobacter* та *Azospirillum*, що створює кращі умови для швидшого росту рослини.

Відносна швидкість росту: цей показник характеризує приріст маси відносно вже існуючої біомаси. У варіанті з сумішшю біодобрив відносна швидкість росту досягла значення 0.0104 г/г/день, що є одним із найвищих показників. Контроль мав значення 0.0114 г/г/день, що, можливо, обумовлено відсутністю стимуляторів росту і меншою загальною біомасою.

Таблиця 11

Вплив біодобрив та органічних рідких поживних речовин на параметри росту кукурудзи

№ п/п	Обробки	Висота рослини (см)	Суша маса рослини (г)	Швидкість росту (г/м ² /день)	Відносна швидкість росту (г/г/день)
1	2	3	4	5	6
1	<i>Azotobacter</i> (25 г/кг)	159.40	114.99	5.90	0.0075

Продовж. табл. 11

1	2	3	4	5	6
2	<i>Azospirillum</i> (25 г/кг)	163.73	113.42	5.74	0.0073
3	<i>Azotobacter</i> (12.5 г/кг) + <i>Azospirillum</i> (12.5 г/кг)	172.43	135.93	9.45	0.0104
	Контроль	160.47	95.00	7.12	0.0114

Загальний аналіз таблиць демонструє переваги використання біодобрив у вирощуванні кукурудзи як з економічної, так і з фізіологічної точки зору. Економічна вигода від комбінованого застосування *Azotobacter* та *Azospirillum* була найвищою, що підтверджує доцільність їх використання для максимізації рентабельності. З точки зору фізіологічних параметрів, біодобрива суттєво підвищували висоту рослин, суху масу та швидкість росту, що може позитивно позначитися на загальній врожайності.

Отже, застосування біодобрив не лише сприяє збільшенню врожайності, але й забезпечує кращу економічну ефективність, підвищуючи рентабельність сільськогосподарського виробництва кукурудзи. Це може мати велике значення для аграріїв, які прагнуть підвищити продуктивність без значного збільшення витрат.

Результати цього окремого дослідження показують частину загальної тенденції позитивних ефектів використання біодобрив, хоча зрозуміло, що кожен окремий випадок для інших культур вимагає окремих досліджень.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

Заходи безпеки при роботі з біологічними препаратами. Охорона праці при роботі з біологічними препаратами є одним з найважливіших аспектів, що визначають не лише ефективність виробничих процесів, а й безпеку здоров'я працівників. Враховуючи специфіку роботи з мікроорганізмами та біодобривами, важливо дотримуватися низки заходів, спрямованих на мінімізацію ризиків та небезпек, пов'язаних із цими матеріалами.

Загальні вимоги до роботи з біопрепаратами. Для забезпечення безпеки на підприємстві важливо забезпечити належні умови для зберігання та використання біопрепаратів. Всі лабораторії і виробничі приміщення повинні відповідати стандартам безпеки, таким як ДСТУ ISO 14001:2015 "Системи екологічного управління. Вимоги та настанова щодо використання" [19] та НПАОП 01.0-1.02-18. "Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві" [20]. Основними вимогами є:

- вентиляція та фільтрація повітря: Лабораторії та виробничі приміщення повинні бути оснащені ефективними вентиляційними системами, що дозволяють уникнути накопичення потенційно небезпечних аерозолів та випарів. Фільтрація повітря в таких приміщеннях має бути здійснена через фільтри класу HEPA або ULPA, що забезпечує зниження кількості мікроорганізмів у повітрі (ДСТУ EN 1822-1:2019) [21];
- зберігання біопрепаратів: Біопрепарати повинні зберігатися в спеціально призначених для цього умовах, що забезпечують оптимальну температуру та вологість, а також захист від забруднення та небажаного контакту з іншими речовинами відповідно до вимог ДСТУ ISO 9001:2015 "Системи управління якістю" [22];
- обмеження доступу: У приміщеннях лабораторій повинен бути контрольований доступ, щоб запобігти проникненню неавторизованих осіб. Вхід дозволяється лише навченому персоналу, який ознайомлений із

правилами безпеки;

- інструменти для дезінфекції: Лабораторії повинні бути обладнані засобами для дезінфекції робочих поверхонь, інструментів та рук після роботи з біологічними матеріалами;
- засоби індивідуального захисту (ЗІЗ): Персонал зобов'язаний використовувати ЗІЗ, зокрема респіратори, окуляри, рукавички, захисний одяг і взуття, щоб уникнути контакту з біопрепаратами;
- утилізація відходів: Всі біологічні та хімічні відходи, що утворюються в лабораторії, повинні збиратися, зберігатися і утилізуватися відповідно до екологічних стандартів;
- навчання персоналу: Весь персонал, який працює з біопрепаратами, повинен пройти регулярні інструктажі та навчання з безпеки праці, включаючи реагування на аварійні ситуації;
- моніторинг ризиків: У лабораторіях необхідно регулярно проводити оцінку ризиків і перевірку дотримання норм безпеки, включаючи стан обладнання, якість повітря та інші фактори, що можуть впливати на здоров'я працівників.

Дії у разі аварійних ситуацій

У разі розливу біодобрих чи мікробіологічного матеріалу:

- локалізація розливу: Усі дії мають виконуватися з використанням засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) згідно з вимогами ДСТУ ISO 45001:2019, [23] щоб уникнути впливу небезпечних речовин на персонал. Місце розливу має бути оперативно позначене і ізольоване для запобігання поширенню речовин;
- дезінфекція: Використовуються сертифіковані дезінфекційні засоби, що відповідають вимогам ДСТУ EN 1276:2019, із забезпеченням їх правильного дозування та часу експозиції. [24] Після завершення дезінфекції проводиться перевірка ефективності очищення та видалення залишкових матеріалів.

У випадку розгерметизації обладнання:

- негайна зупинка процесу: Відповідно до вимог ДСТУ ISO 45001:2019, на підприємстві має бути розроблений і впроваджений чіткий алгоритм дій при аварійних ситуаціях, включаючи плани евакуації та інструкції для персоналу щодо термінової зупинки процесів і ізоляції небезпечної зони;
- оцінка та усунення наслідків: Обладнання, що стало причиною розгерметизації, перевіряється спеціалістами на предмет пошкоджень і відповідності нормативним вимогам, зазначеним у ДСТУ ISO 45001:2019, із подальшим проведенням профілактичних заходів;
- контроль за станом персоналу: Персонал, що перебував у зоні аварії, має пройти медичне обстеження для виключення можливих впливів небезпечних речовин.

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ).

Засоби індивідуального захисту є необхідною умовою для збереження здоров'я працівників під час роботи з біологічними препаратами. ЗІЗ повинні бути адаптовані до специфіки робочого середовища і потенційних небезпек. Згідно з ДСТУ EN 149:2017. "Засоби індивідуального захисту органів дихання" [25] та іншими нормативними документами, для забезпечення захисту необхідно використовувати відповідні засоби:

- респіратори: Для захисту органів дихання від аерозолів мікроорганізмів застосовуються респіратори з фільтрами для пилу та мікроорганізмів;
- окуляри: Для захисту очей від контакту з біологічними препаратами та агресивними хімічними речовинами необхідно використовувати захисні окуляри, що забезпечують герметичне прилягання до обличчя, відповідно до ДСТУ EN 166:2017 "Засоби індивідуального захисту очей. Технічні умови "[26];
- рукавички: Використовуються рукавички з матеріалів, стійких до хімічного впливу та проникнення мікроорганізмів;

- захисний одяг: Захисний одяг має бути виготовлений із матеріалів, що запобігають проникненню біологічних агентів та забезпечують комфорт під час роботи;
- захисне взуття: Спеціалізоване взуття запобігає ковзанню та захищає від можливих забруднень.

Дотримання цих вимог дозволяє мінімізувати ризики для здоров'я працівників і забезпечити високий рівень безпеки у процесі роботи з біологічними препаратами.

РОЗДІЛ 5. БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Дії при аваріях і небезпечних ситуаціях у випробувальних лабораторіях.

Надзвичайні ситуації у випробувальних лабораторіях можуть включати аварії, пов'язані з біологічними агентами, хімічними речовинами, пожежами, витоками газів, електричними замиканнями або технічними несправностями обладнання. У таких умовах швидкість і правильність дій персоналу є критичними. Для забезпечення ефективного реагування система безпеки повинна включати розроблені сценарії реагування, деталізовані інструкції для персоналу, а також засоби і процедури для мінімізації наслідків. Важливим елементом є впровадження вимог ДСТУ ISO 45001:2018, що передбачає створення комплексної системи управління ризиками. Це дозволяє знижувати ризики для здоров'я працівників, захищати матеріальні ресурси та уникати забруднення навколишнього середовища. Зокрема, до стандартних процедур повинно входити визначення зон ризику, використання засобів індивідуального захисту, регулярний аудит безпеки і навчання персоналу. Усі ці заходи сприяють підвищенню рівня готовності до непередбачуваних ситуацій та забезпечують швидке відновлення нормальної роботи лабораторії.

Реагування на розлив біодобрих чи мікробіологічного матеріалу

1. Локалізація розливу: Усі дії виконуються з використанням засобів індивідуального захисту (ЗІЗ), таких як рукавички, респіратори та захисний одяг. Зона розливу повинна бути оперативно ізольована за допомогою захисних бар'єрів або спеціальних матеріалів, щоб уникнути поширення речовин. Персонал, що перебуває поблизу, має бути евакуйований до безпечного місця.

2. Дезінфекція та очищення: Використовуються сертифіковані дезінфекційні засоби, які відповідають ДСТУ EN 1276:2019. Важливо дотримуватись рекомендацій щодо дозування та часу експозиції дезінфектантів. Після завершення дезінфекції проводиться перевірка

ефективності очищення за допомогою відповідних тестів, щоб забезпечити відсутність залишкових небезпечних матеріалів.

3. Утилізація відходів: Усі залишки матеріалів та використані засоби дезінфекції збираються у герметичні контейнери для утилізації відповідно до екологічних стандартів. Документація щодо утилізації повинна бути належним чином заповнена.

Дії у випадку розгерметизації обладнання

1. Негайна зупинка процесу: У разі розгерметизації обладнання працівники повинні негайно припинити роботу з використанням аварійних кнопок зупинки процесів, якщо це передбачено конструкцією. Зона, де сталася розгерметизація, повинна бути ізольована, а доступ до неї обмежений.

2. Оцінка ситуації: Керівництво лабораторії організовує оцінку наслідків аварії спеціалістами. Важливо визначити, чи є ризик для персоналу або навколишнього середовища, а також встановити причини розгерметизації. Перевірка обладнання здійснюється відповідно до стандартів безпеки, зокрема вимог ДСТУ ISO 45001:2019.

3. Ремонт та профілактичні заходи: Після оцінки стану обладнання здійснюються ремонтні роботи. Для запобігання повторенню аварій необхідно переглянути процедури технічного обслуговування, а також провести навчання персоналу щодо роботи з обладнанням.

4. Медичний огляд персоналу: Усі працівники, які перебували поблизу аварії, повинні пройти медичне обстеження, щоб виключити можливий вплив небезпечних речовин. Результати обстеження фіксуються у спеціальному журналі.

Реагування на пожежі та вибухи

1. Евакуація персоналу: У разі виникнення пожежі або вибуху персонал повинен негайно покинути приміщення згідно з планом евакуації. Важливо уникати паніки та слідувати вказівкам відповідальних осіб.

2. Гасіння пожежі: Якщо ситуація дозволяє, працівники можуть використовувати первинні засоби пожежогасіння, зокрема вогнегасники,

дотримуючись інструкцій з їх використання. Важливо пам'ятати про необхідність носіння ЗІЗ.

3. Повідомлення служб: Про інцидент негайно повідомляються служби пожежної охорони та керівництво лабораторії. Після прибуття професійних рятувальників працівники повинні слідувати їхнім інструкціям.

Навчання персоналу та профілактичні заходи

1. Планові тренування: Для забезпечення готовності до надзвичайних ситуацій лабораторія повинна регулярно проводити навчання з евакуації, використання ЗІЗ, первинних засобів пожежогасіння та дій у разі розливів або розгерметизацій.

2. Оцінка ризиків: Лабораторія повинна регулярно переглядати оцінку ризиків, враховуючи можливі сценарії аварій. Це включає аналіз роботи обладнання, використання матеріалів та загальний стан робочого середовища.

3. Аудит безпеки: З метою попередження аварійних ситуацій проводяться періодичні аудити відповідності стандартам безпеки. У разі виявлення невідповідності розробляються коригувальні заходи.

Дотримання цих рекомендацій забезпечує зниження ризиків аварій та небезпечних ситуацій у лабораторіях, а також підвищує рівень безпеки для персоналу та навколишнього середовища. Зокрема, під час організації безпечної роботи у лабораторіях слід притримуватися вимог таких стандартів, як ДСТУ ISO 45001:2019, що регламентує систему управління охороною праці; ДСТУ EN 1276:2019, який визначає ефективність дезінфекційних засобів. Виконання цих стандартів сприяє створенню надійної системи безпеки та мінімізації впливу аварій на навколишнє середовище.

РОЗДІЛ 6

ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ РОЗРОБЦІ ТА ЗАСТОСУВАННІ БІОДОБРИВ

Охорона довкілля. Розробка і застосування біодобрив передбачають інтеграцію сучасних біотехнологій у сільське господарство, що забезпечує підвищення врожайності і поліпшення екологічного стану ґрунтів. Проте ці процеси мають здійснюватися з урахуванням стандартів безпеки, щоб уникнути негативного впливу на довкілля і здоров'я людини.

Вплив біодобрив на стан ґрунтів. Біодобрива можуть сприяти поліпшенню структури ґрунтів, збагаченню їх поживними речовинами і збільшенню мікробіологічної активності. Однак, неконтрольоване застосування цих препаратів може призвести до забруднення ґрунтів залишками органічних або мікробіологічних компонентів. Необхідно проводити моніторинг ґрунтів перед і після внесення біодобрив. Це дозволяє визначати потенційні ризики накопичення небезпечних речовин, таких як токсичні метали чи органічні сполуки.

Контроль дозування внесення біодобрив. Оптимальні дози біодобрив визначаються залежно від типу ґрунту, кліматичних умов і культур, що вирощуються. Внесення надмірних кількостей може спричинити засолення або зниження якості ґрунтів. Необхідно застосовувати біодобрива в обмежених кількостях, для збереження родючості ґрунтів і уникнення негативного впливу на екосистему.

Безпечне зберігання та транспортування біодобрив. Однією з ключових вимог є організація безпечного зберігання біодобрив. Згідно з ДСТУ ISO 45001:2019, склади повинні бути обладнані системами вентиляції, температурного контролю та захисту від вологи. Також необхідно забезпечити маркування контейнерів, які містять біодобрива, щоб запобігти їх ненавмисному використанню чи пошкодженню. При транспортуванні дотримуються правил, визначених ДСТУ 4500-1:2008 "Вимоги до

транспортування небезпечних речовин", з акцентом на мінімізацію ризиків проливів і контакту з навколишнім середовищем.

Запобігання забрудненню водних об'єктів. Під час розробки та використання біодобрих важливо враховувати ризики потрапляння речовин у водні об'єкти через стоки або змиви з полів. ДСТУ ISO 14001:2015 "Системи екологічного управління" рекомендує впроваджувати заходи для зменшення екологічних ризиків. Серед них – створення буферних зон біля водойм і використання спеціалізованих систем фільтрації для зниження ризику потрапляння небезпечних речовин у воду.

Охорона праці під час виробництва біодобрих. Процес виробництва біодобрих включає використання мікроорганізмів, хімічних реагентів і спеціалізованого обладнання. Це створює низку потенційних небезпек, які потребують впровадження заходів захисту. ДСТУ ISO 45001:2019 вимагає забезпечення робочих місць засобами індивідуального захисту (рукавички, маски, костюми) і регулярного проведення навчань персоналу щодо безпечної роботи.

Контроль якості продукції. Для забезпечення безпеки споживачів біодобрих повинні проходити контроль на відповідність стандартам якості. Лабораторні випробування дозволяють перевіряти склад продукції на вміст токсичних елементів, мікробіологічну чистоту і відповідність заявленим характеристикам. Усі результати фіксуються у відповідній документації, яка додається до продукції.

Навчання та інструктажі персоналу. Для мінімізації ризиків аварій на виробництві необхідно регулярно проводити інструктажі з охорони праці та планові тренування з реагування на надзвичайні ситуації. Особлива увага приділяється сценаріям витоків мікробіологічних матеріалів або хімічних речовин, які можуть бути небезпечними для здоров'я працівників і навколишнього середовища. Всі заходи організовуються згідно з ДСТУ ISO 22320:2017 Соціальна безпека. Управління у надзвичайних ситуаціях.

Аудит систем безпеки. З метою підвищення ефективності заходів з

охорони праці та довкілля впроваджується аудит систем управління ризиками. Згідно з ДСТУ ISO 19011:2018 Настанови щодо проведення аудитів систем управління, аудит включає перевірку дотримання встановлених процедур, оцінку ефективності засобів індивідуального захисту і перевірку готовності до аварійних ситуацій. За результатами аудиту розробляються коригувальні заходи для усунення виявлених недоліків.

Дотримання цих вимог і стандартів дозволяє забезпечити високий рівень безпеки при розробці та використанні біодобрих, зберігаючи здоров'я людей і стан навколишнього середовища.

ВИСНОВКИ

Використання біодобрів дозволяє значно знизити екологічне навантаження на агроєкосистеми, підвищити родючість ґрунту та врожайність. Завдяки діяльності мікроорганізмів, які входять до їхнього складу, такі добрива забезпечують мобілізацію важкодоступних поживних речовин, таких як фосфор і азот, покращують структуру ґрунту та стимулюють ріст кореневої системи.

На відміну від хімічних добрив, біодобрива не спричиняють деградацію ґрунту, зберігають мікробіоту і підвищують її різноманітність. Крім того, біодобрива покращують водоутримувальну здатність ґрунту. Це демонструється експериментами, де водоутримувальна здатність ґрунту при використанні біодобрів становила 5,55%, що перевищує показники обробки хімічними добривами (3,14%). Вони також є економічно вигіднішими для фермерів, забезпечуючи довгостроковий ефект та сприяючи сталому розвитку сільського господарства.

Лабораторні випробування продемонстрували їхню здатність підтримувати оптимальні значення рН ґрунту. У дослідженнях зафіксовано, що біодобрива сприяють підвищенню мікробної активності та біорізноманіття ризосфери. Це доводить їхню ефективність у довгостроковій перспективі, особливо для збереження екологічної рівноваги. У порівнянні з хімічними добривами, біодобрива сприяють більш ефективному використанню ресурсів і підвищенню екологічної стійкості.

Незважаючи на переваги, впровадження біодобрів стикається з викликами, пов'язаними з конкуренцією між інтродукованими мікроорганізмами і місцевою мікробіотою. Для успішного застосування біодобрів необхідно враховувати специфіку ґрунтових умов і правильно підбирати штами мікроорганізмів.

Вивчення технологій виробництва та використання біодобрів дозволяє оптимізувати агротехнічні заходи, зменшити залежність від хімічних засобів

та підтримувати родючість ґрунту на тривалий період, що має позитивний екологічний ефект і сприяє сталому розвитку агроєкосистем. Результати досліджень на базі ТОВ «Інститут прикладної біотехнології» підтверджують практичну користь біодобрих для підвищення врожайності та збереження екосистем.

ПРОПОЗИЦІЇ

Перша пропозиція: використання штамів *Azospirillum* та *Azotobacter* у складі біодобрив, адаптованих до конкретних ґрунтово-кліматичних умов Вінницької області. Згідно з проведеними дослідженнями, *Azospirillum* ефективно фіксує 20–40 кг азоту на гектар і стимулює ріст рослин завдяки синтезу регуляторів росту. Це особливо актуально для культур з C4-фотосинтезом, таких як маїс, який широко вирощується в регіоні. *Azotobacter*, у свою чергу, є важливим компонентом біодобрив для нейтральних і лужних ґрунтів, які характерні для цієї місцевості, і додатково забезпечує захист рослин завдяки антигрибковим властивостям.

Друга пропозиція: включення мікоризних грибків (наприклад, *Glomus fasciculatum*) до біодобрив. Мікориза підвищує ефективність засвоєння фосфору, кальцію, цинку та інших мікроелементів, які часто є недоступними у ґрунті через їх фіксацію. Цей симбіотичний зв'язок між грибами і коренями рослин також підсилює стійкість рослин до стресових умов, таких як посуха, високі температури, токсичність важких металів. Використання мікориз дозволяє значно підвищити доступність поживних речовин у ґрунті, покращуючи врожайність культур навіть на бідних ґрунтах.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Soil fertility guide / Government of Newfoundland and Labrador. URL: <https://www.gov.nl.ca/ffa/files/publications-pdf-fert-guide.pdf>
2. Ann Marie VanDerZanden. Environmental factors affecting plant growth. *OSU Extension*. URL: <https://extension.oregonstate.edu/gardening/techniques/environmental-factors-affecting-plant-growth>
3. Goutami N., Aruna Kumari H., Venkata Lakshmi M., Sandeep Nayak B. N. Role of biofertilizers - towards organic agriculture. *International Journal of Multidisciplinary Advanced Research Trends*. 2017. Vol. 4(1[3]). P. 174-178.
4. Писаренко В. М., Писаренко П. В. Органічні добрива на хахисті родючості ґрунту : монографія. Полтава, 2022. 158 с. URL: <https://www.pdau.edu.ua/sites/default/files/academicdepartment/kafedra-zahyst-roslyn/organichnidobryvaknyga2022.pdf>
5. Agarwal P., Gupta R., Gill I. K. Importance of biofertilizers in agriculture biotechnology. *Annals of Biological Research*. 2018. Vol. 9(3). P. 1–3. URL: https://www.researchgate.net/profile/Prashant-Agarwal-2/publication/325988406_Importance_of_Biofertilizers_in_Agriculture_Biotechnology/links/5b320416a6fdcc8506d02ff3/Importance-of-Biofertilizers-in-Agriculture-Biotechnology.pdf?origin=journalDetail&_tp=eyJwYWdlIjoiam91cm5hbERldGFpbCJ9
6. Оптимізація систем удобрення у сучасному землеробстві : віртуальна виставка. *Рівненська обласна універсальна наукова бібліотека*. URL: <https://libr.rv.ua/sections/items/114?module=virt>
7. Veselka Vlahova. Environmental advantages of the use of biofertilizers in the agroecosystem - a review. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, Vol. LXVII, No. 1, 2024
8. Rakesh Kumar, Narendra Kumawat, Yogesh Kumar Sahu. Role of

Biofertilizers in Agriculture. Popular Kheti. Vol. 5, Issue-4, 2017

9. Crop residue degradation by fungi isolated from conservation agriculture fields under rice–wheat system of North-West India / M. Choudhary et al. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*. 2016. Vol. 5, no. 4. P. 349–360. URL: <https://doi.org/10.1007/s40093-016-0145-3>

10. Shahane A. A., Shivay Y. S. Soil health and its improvement through novel agronomic and innovative approaches. *Frontiers in Agronomy*. 2021. Vol. 3. URL: <https://doi.org/10.3389/fagro.2021.680456>

11. Saini V. K., Bhandari S. C., Tarafdar J. C. Comparison of crop yield, soil microbial C, N and P, N-fixation, nodulation and mycorrhizal infection in inoculated and non-inoculated sorghum and chickpea crops. *Field Crops Res*. 2004. Vol. 89. P. 39–47.

12. Deshwal V. K., Kumar T., Dubey R. C., Maheshwari D. K. Long-term effect of *Pseudomonas aeruginosa* GRC1 on yield of subsequent crops of paddy after mustard seed bacterization. *Current Science*. 2006. Vol. 91(4). 25 August.

13. Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial / S. C. Wu et al. *Geoderma*. 2005. Vol. 125, no. 1-2. P. 155–166. URL: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.07.003>

14. Effects of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, growth and nutrient contents in organically growing raspberry / E. Orhan et al. *Scientia Horticulturae*. 2006. Vol. 111, no. 1. P. 38–43. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.09.002>

15. Maheshwari D. K. *Bacteria in agrobiolgy: Plant probiotics*. Heidelberg: Springer, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-27514-2>

16. José L. Zambrano-Mendoza, Carlos A. Sangoquiza-Caiza, Diego F. Campaña-Cruz and Carlos F. Yáñez-Guzmán. Use of Biofertilizers in Agricultural Production. *Technology in Agriculture* 2021. DOI:10.5772/intechopen.98264

17. Role of microbial inoculants as bio fertilizers for improving crop productivity: A review / D. Shahwar et al. *Heliyon*. 2023. P. e16134. URL: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16134>

18. Igiehon N. O., Babalola O. O. Biofertilizers and sustainable agriculture: exploring arbuscular mycorrhizal fungi. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2017. Vol. 101, no. 12. P. 4871–4881. URL: <https://doi.org/10.1007/s00253-017-8344-z>
19. ДСТУ ISO 14001:2015. Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосування (ISO 14001:2015, IDT). Чинний від 2016-07-01. Вид. офіц. Київ : ДП «НДІ «Система», 2015. 42 с.
20. НПАОП 01.0-1.02-18. Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві. Чинний від 2018-10-12. Вид. офіц. Київ, 2018.
21. ДСТУ EN 1822-1:2019. Фільтри повітряні високоефективні (ЕРА, НЕРА і ULPA). Частина 1. Класифікація, випробування експлуатаційних характеристик, маркування (EN 1822-1:2019, IDT). Чинний від 2020-01-01. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020.
22. ДСТУ ISO 9001:2015 "Системи управління якістю"
23. ДСТУ ISO 45001:2019. Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування (ISO 45001:2018, IDT). Чинний від 2021-01-01. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2021. 40 с.
24. ДСТУ EN 1276:2019. Засоби хімічні дезінфікувальні та антисептики. Кількісний суспензійний метод оцінювання для визначення бактерицидної активності хімічних дезінфікувальних засобів та антисептиків, використовуваних у закладах харчування, промисловості, домашньому господарстві та суспільних закладах. Метод випробування та вимоги (етап 2, крок 1) (EN 1276:2009, IDT). Чинний від 2019-08-01. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 44 с.
25. ДСТУ EN 149:2017. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Фільтрувальні півмаски для захисту від аерозолів. Вимоги, випробування, маркування (EN 149:2001+A1:2009, IDT). Чинний від 2018-02-02. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018. 46 с.
26. ДСТУ EN 166:2017. Засоби індивідуального захисту очей.

Технічні умови (EN 166:2001, IDT). Чинний від 2018-02-02. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018. 40 с.

27. ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (EN ISO/IEC 17025:2017, IDT; ISO/IEC 17025:2017, IDT) Чинний від 2021-01-01. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020. 24 с.

28. ДСТУ ISO 10390:2022. Ґрунт, оброблені біовідходи та осад. Визначення рН. Чинний від 2022-16-05. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2021. 4 с.

29. ДСТУ Б В.2.1-2-96 Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Класифікація (ГОСТ 25100-95) Чинний від 1997-11-01. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 1997. 47 с.

ДОДАТОК А