

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Агробіологічний факультет

ПОГОДЖЕНО
Декан агробіологічного
факультету

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри рослинництва

_____ Віталій КОВАЛЕНКО
«_____» _____ 2025 р.

_____ Світлана КАЛЕНСЬКА
«_____» _____ 2025 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему «ПРОДУКТИВНІСТЬ СОЇ ЗА ЗАСТОСУВАННЯ
АРБУСКУЛЯРНО-МІКОРИЗНИХ ГРИБІВ ТА
ІНОКУЛЯНТІВ»

Спеціальність

201 «Агрономія»

Освітня програма

Агрономія

Орієнтація освітньої програми

Освітньо-професійна

Гарант освітньої програми

д. с.-г. наук, професор

_____ Каленська С. М.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи,
д-р с.-г. наук, професор, академік НААН України

_____ С.М. Каленська

Виконав

_____ О.М. Правилів

КИЇВ – 2025

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Агробіологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри рослинництва

доктор с.-г. наук, професор

_____ С. М. КАЛЕНСЬКА

2024 р.

**ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
СТУДЕНТУ**

Правилову Олександрю Миколайовичу

Спеціальність	201 «Агрономія»
Освітня програма	Агрономія
Орієнтація освітньої програми	Освітньо-професійна

Тема магістерської роботи: «Продуктивність сої за застосування арбускулярно-мікоризних грибів та інокулянтів» затверджено наказом ректора НУБіП України від 12.12.2024 р. № 2220 «С».

Термін подання завершеної роботи на кафедру 17.10.2025 р.

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи: дослідження за темою магістерської роботи проводяться у ВП НУБіП України «Агрономічна дослідна станція», Київської області, Білоцерківського району, село Пшеничне. Ґрунти – чорнозем типовий середньосуглинковий з вмістом гумусу в оброблюваному шарі ґрунту 4,39–4,53%; рН сольової витяжки 6,80–7,30; ємність поглинання – 31,9 мг–екв /100 г ґрунту; польова вологоємність – 28%; вологість стійкого в’янення – 10%. Глибина залягання підґрунтових вод 2–4 м. Вміст загального азоту становить 34,7 мг/кг ґрунту, визначений за методикою

О. Н. Соколовського; фосфор – 46 мг/кг; калій – 125 мг/кг за Мачигінім. Щільність ґрунту на глибині 0–10 см становить 1,16–1,18 г/см³, 10–20 см – 1,23–1,25 г/см³, 20–30 см – 1,26 г/см³. Дослідження проводили з сортом сої 'Кобуко', селекції Інституту кормів та сільського господарства Поділля Національної академії аграрних наук України. Дослідити ефективність інокулянтів ХіСтік Соя (BASF) та Профікс (Certis Belchim), а також арбускулярно-мікоризного гриба МікоАпплай (Sumitomo Chemical Agro Europe) у комбінації з протруйниками Максим XL (Syngenta) або Вайбранс RFC (Syngenta).

Мета дослідження: виявити вплив арбускулярно-мікоризних грибів у поєднанні з інокулянтами та протруйниками на урожайність сої, формування бульбочкових бактерій, якість зерна.

Гіпотеза: поєднання арбускулярно-мікоризних грибів з інокулянтом позитивно впливає на продуктивність сої, на її якісні показники (урожайність, протеїн, жири), покращується засвоєння азоту. Завдяки сумісній дії арбускулярно-мікоризних грибів та інокулянтів покращується рівень засвоєння мінеральних добрив, збільшується кількість бульбочкових бактерій, підвищується фотосинтетична активність рослин, що в кінцевому результаті позитивно впливає на урожайність та показники якості насіння.

Питання, що підлягають дослідженню:

1. Опрацювати літературні джерела, які описують вплив інокулянтів, арбускулярно-мікоризних грибів, протруйників (меншою мірою) на продуктивність сої та якість зерна.

2. Закласти польові досліди, забезпечивши належну технологію вирощування сої, та відбираючи зразки рослин на різних фазах для аналізу динаміки розвитку рослин протягом вегетації.

3. Провести обліки лабораторної та польової схожості, біометричних параметрів рослини (висота, кількість листків та бобів, кількість бульбочок, зелена та суха маса рослин тощо), визначити чисту продуктивність

фотосинтезу, урожайність, вологість насіння, якісні показники – вміст протеїну та жирів.

4. Встановити наявність/відсутність синергетичного ефекту від поєднання інокулянтів з арбускулярно-мікоризними грибами на сої.

5. Встановити біологічну та економічну доцільність застосування інокулянтів з арбускулярно-мікоризним грибом.

Дата видачі завдання 27.10.2024 р.

Керівник магістерської роботи

С.М. Каленська

Завдання прийняв до виконання

О.М. Правилів

РЕФЕРАТ

Тема магістерської роботи: «Продуктивність сої за застосування арбускулярно-мікоризних грибів та інокулянтів».

Дослідження проводилось впродовж 2025 року в стаціонарному досліді кафедри рослинництва у ВП «Агрономічна дослідна станція» Білоцерківського району Київської області, в околицях села Пшеничне, координати району проведення дослідів: 50.089177, 30.214763.

Магістерська робота складається з п'яти розділів.

Перший розділ описує огляд літературних джерел з посиланням на авторів, проблематику та актуальність теми дослідження. В **другому розділі** наведено характеристику місця проведення досліджень, умови та методики проведення дослідження. В **третьому розділі** описано технологію вирощування сої, протруєння насіння, посів, а також захист посівів від бур'янів, хвороб та шкідників протягом вегетації. В **четвертому розділі** наведено результати та аналіз проміжних даних, які було отримано на ранніх та середніх термінах вегетації сої: лабораторну і польову схожість, біометричні дані (висота рослин, кількість бульбочок, кількість листків, маса листя), вміст сухої речовини, чиста продуктивність фотосинтезу, тощо. **П'ятий розділ.** Представлено результати та аналіз даних структури та урожайності. Обґрунтовано **висновки** за результатами дослідження і **рекомендації**. **Апробація роботи.** Правилів О.М., Каленська С.М. Продуктивність сої за застосування арбускулярно-мікоризних грибів та інокулянтів. Матеріали Міжн. науково-практ. конференції «Продовольча безпека України. Збереження та відновлення ґрунтових і рослинних ресурсів». 22 - 23 травня 2025 року. НУБІП. Київ.

Ключові слова: *соя, протруйник, інокулянт, АМГ (арбускулярно-мікоризні гриби), бульбочки, маса листя, урожайність, схожість, боби, білок, олія*

ЗМІСТ

ВСТУП

Розділ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

Розділ 2. МІСЦЕ, УМОВИ ТА МЕТОДИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

- 2.1. Місце та умови проведення дослідження.....
- 2.2. Методи проведення дослідження.....
- 2.3. Схема дослідження та опис продуктів, які використовувались.....

Розділ 3. ТЕХНОЛОГІЧНІ ОПЕРАЦІЇ В ДОСЛІДІ

- 3.1. Протруєння насіння.....
- 3.2. Посів.....
- 3.3. Захист сої від патогенів.....

Розділ 4. ОСОБЛИВОСТІ РОСТУ ТА РОЗВИТКУ РОСЛИН СОЇ

- 4.1. Польова схожість насіння.....
- 4.2. Лабораторна схожість насіння.....
- 4.3. Формування бульбочкових бактерій та біометричних параметрів рослин у фазу R2 (цвітіння).....
- 4.4. Формування бобів та біометричних параметрів рослин у фазу R4 (формування бобів).....
- 4.5. Вміст сухої речовини в рослинах
- 4.6. Чиста продуктивність фотосинтезу.....

Розділ 5. СТРУКТУРА, УРОЖАЙНІСТЬ ТА ЯКІСТЬ ЗЕРНА

- 5.1. Висота рослин, кількість бобів, кількість насіння.....
- 5.2. Облік та аналіз урожайності сої.....
- 5.3. Якість насіння сої.....

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

ВСТУП

Соя (*Glycine max* L.) посідає ключове місце у світовому сільському господарстві та продовольчій безпеці, що обумовлено її унікальним хімічним складом. Вона є однією з найважливіших зернобобових культур, забезпечуючи значну частину світового виробництва рослинного білка та олії. Зерно сої містить від 35% до 45% високоякісного білка, що робить її незамінною сировиною для харчової промисловості, виробництва кормів, а також важливим компонентом вегетаріанського та дієтичного харчування. Вміст олії у сої коливається в межах 18–25%, що визначає її цінність для олійно-жирової галузі.

Як бобова культура, соя здатна до біологічної фіксації атмосферного азоту завдяки симбіозу з бульбочковими бактеріями (*Bradyrhizobium japonicum*). Це не лише забезпечує її потреби в азоті, але й збагачує ґрунт цим елементом, покращуючи його родючість і знижуючи потребу у дорогих азотних добривах для наступних культур у сівозміні.

В умовах зростаючого світового попиту на білок та необхідності розвитку сталого сільського господарства, соя стає стратегічною культурою.

Актуальність досліджень із застосування мікробних препаратів

Перехід до ресурсозберігаючих та екологічно чистих технологій інтенсифікує пошук біологічних методів підвищення продуктивності сої. У цьому контексті особливої актуальності набувають дослідження інокулянтів та арбускулярно-мікоризних грибів (АМГ).

Інокулянти (Бульбочкові бактерії): Традиційне застосування інокулянтів на основі *Bradyrhizobium japonicum* є усталеною практикою для забезпечення азотного живлення. Однак ефективність цього симбіозу залежить від штаму, ґрунтово-кліматичних умов та наявності інших елементів (особливо фосфору). Дослідження, спрямовані на оптимізацію штамів та їхню взаємодію з іншими мікроорганізмами, є критично важливими.

Арбускулярно-мікоризні гриби (АМГ): АМГ утворюють ендосимбіоз з коренями сої, утворюючи зовнішні гіфи, які значно збільшують площу поглинання поживних речовин із ґрунту. Їхня роль є незамінною для:

- Мобілізації фосфору: Це особливо актуально, оскільки фосфор є малорухливим у ґрунті та часто обмежує врожайність. АМГ сприяють підвищенню ефективності використання фосфорних добрив.
- Поглинання води та мікроелементів: Грибний міцелій покращує доступ рослини до води та таких елементів, як цинк, мідь та калій.
- Покращення стійкості: АМГ підвищують толерантність рослин сої до абіотичних (посуха, засолення) та біотичних (кореневі патогени) стресів.

Актуальність цього дослідження полягає у вивченні комплексної взаємодії двох ключових мікробних груп – азотфіксуючих бактерій та АМГ – для забезпечення максимальної продуктивності сої з плановим використанням мінеральних добрив.

Розділ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1. Роль азотфіксації та фосфорного живлення у продуктивності сої

Висока потреба бобових культур, зокрема сої, в азоті є ключовим чинником, що зумовлює інтенсивні процеси азотфіксації протягом репродуктивної фази.

Як зазначають дослідники, при своєчасному формуванні кореневих бульбочок та високій ефективності симбіотичного комплексу, соя здатна формувати значний урожай переважно за рахунок біологічно фіксованого азоту (Шевніков М.Я., 2007; Kalenska S. et al., 2022; Novytska N. et al., 2020; Tamango S. et al., 2018; Wang, S. Q., 2009).

Важливо підкреслити, що активність симбіозу може варіювати. Зокрема, у низці наукових праць вітчизняні вчені (Колісник С. І., 2013; Крутило Д.А., 2014; Воробей Н.А. та ін., 2023) вказують на різну ефективність штамів бульбочкових бактерій роду *Bradyrhizobium japonicum*, які використовуються як активна субстанція інокулянтів, залежно від сортових особливостей сої.

Щодо іншого ключового елемента — фосфору, його проблема як поживного елемента полягає у обмеженій рухливості в ґрунті. Оптимальне утворення фосфорорганічних сполук у рослинних організмах можливе лише за умови ефективного засвоєння сполук фосфору через кореневу систему.

1.2. Арбускулярна мікориза (АМ) як фактор оптимізації живлення та ґрунтового здоров'я

Використання мікоризоутворюючих біопрепаратів є дієвим способом для покращення поглинання рослинами рухомих форм фосфору з ґрунту.

Літературні джерела містять значний обсяг даних, які свідчать про те, що арбускулярний мікоризний симбіоз не лише стимулює надходження елементів живлення, але й підвищує стійкість рослин до різноманітних стресових чинників довкілля, включаючи забруднення важкими металами, посуху та засолення (Entry J.A. et al., 2002; Nadeem S.M. et al., 2014; Abatemarco de Moura M. L., 2022).

Встановлено, що тристороння асоціація (рослина-господар, мікоризні симбіонти та бактерії) сприятливо впливає на рослини і може бути успішно інтегрована в сільськогосподарську практику. Одним із підтверджених шляхів збільшення продуктивності культур в умовах посухи є інокуляція коренів за допомогою АМ-грибів (Buysens, C. et al., 2013). Дослідженнями підтверджено ефективне поглинання не лише малорухомих іонів (фосфору, кальцію, цинку, магнію, молібдену, міді, заліза), але й посилене поглинання більш рухливих іонів азоту, що особливо актуально в умовах дефіциту вологи (Njeru, E.M. et al., 2014).

Спільна інокуляція АМ-грибами, бактеріями *Bradyrhizobium* та іншими корисними мікроорганізмами робить технологію вирощування сої особливо перспективною. Високий урожай сої сприяє накопиченню в орному шарі ґрунту ключових елементів (азоту, вуглецю, фосфору, калію) та мікроелементів, які стають доступними для наступних культур сівозміни.

1.3. Актуальність досліджень у сфері мікробних інокулянтів

Питання вдосконалення агротехнологій вирощування сої в Україні завжди було у фокусі уваги провідних науковців: Адаменя Ф.Ф. (2006), Бабича А.О.

(1993), Бахмата О.М. (2009), Лихочвора В.В. (2006) та інших.

Глибоке вивчення впливу бактеріальних препаратів та регуляторів росту на тлі мінерального живлення відображено у дисертаційних роботах (Каленська С.М., 2001; Шевніков М. Я., 2010; Шовкова О.В., 2021; Романько А. Ю., 2021; Андрієць Д.В., 2013; Фурман О.В., 2021), монографіях (за ред. Бобро М.А., 2016) та численних наукових публікаціях (Каленська С.М., та ін., 2010; Новицька Н.В. та ін., 2017; Кравченко В.С. та ін., 2019; Вишнівський П. С. та ін., 2020).

Грунтові мікроорганізми, які охоплюють ризобактерії та гриби, є критично важливими для здоров'я ґрунту, його біорізноманіття та продуктивності екосистем. Ризобактерії, що стимулюють ріст рослин (PGPR), тісно асоційовані з корінням, покращують засвоєння поживних речовин і стимулюють продуктивність. Аналогічно, арбускулярні мікоризні гриби (АМГ) формують мутуалістичні зв'язки, що посилюють поглинання елементів живлення, сприяючи загальному росту та врожайності рослин.

1.4. Виклики сучасного сільського господарства та біологічний підхід

Сучасні аграрні системи стикаються з подвійним завданням: необхідністю збільшення виробництва продовольства для зростаючого населення та одночасним зменшенням негативного впливу на навколишнє середовище (Jones et al. 2017). Проблема продовольчої безпеки посилюється зміною клімату, деградацією ґрунтів та дефіцитом орних земель (Fasusi et al. 2021; Islam and Wong 2017). Традиційне застосування мінеральних добрив, хоча і підвищує продуктивність, призводить до втрати біорізноманіття, погіршення

якості ґрунтів та забруднення навколишнього середовища (Ramankutty et al. 2018; Alori and Babalola, 2018). Це стимулює пошук екологічно чистих, біологічно обґрунтованих підходів, здатних підвищити ріст рослин та врожайність (Gouda et al., 2018).

Доведено, що корисні мікроорганізми, які мешкають у ризосфері, здатні підвищувати продуктивність та доступність поживних речовин (Teotia et al. 2016). Симбіотичні взаємодії, що відбуваються між кореневою системою рослини та ґрунтовими мікробами (Jacoby et al. 2017), мають вирішальне значення для поліпшення родючості ґрунту. Рослина використовує сигнальні шляхи для встановлення взаємодії з корисними мікробами у кореневій зоні (Li et al. 2016). Серед мікроорганізмів, які посилюють ріст рослин, виділяють роди: *Alcaligenes*, *Serratia*, *Azospirillum*, *Bacillus*, *Frankia*, *Rhizobium*, *Mycobacterium*, *Azotobacter*, *Gigaspora*, *Glomus*, *Acaulospora*, *Streptomyces* та *Arthrobacter* (Kehri et al. 2018; Meena et al. 2017).

1.5. Основні групи корисних мікроорганізмів та механізми їх дії

Ґрунтові мікроби, зокрема АМГ (арбускулярно-мікоризні гриби) та PGPR, виконують ключову функцію у підвищенні родючості ґрунту та забезпеченні кругообігу поживних речовин для стимулювання розвитку рослин (Fasusi et al. 2021). Ці організми не лише покращують розвиток рослин через поглинання елементів живлення, але й підвищують їх толерантність до біотичного та абіотичного стресу (Cabral et al. 2015; Ramakrishna et. al., 2019).

1.5.1. Ризобактерії, що стимулюють ріст рослин (PGPR)

PGPR належать до поширених ризобактерій, які здатні стимулювати ріст

рослин, включаючи типи Proteobacteria та Firmicutes (Gontia-Mishra et al. 2017). До родів із підтвердженою активністю стимулювання росту належать *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Enterobacter*, *Serratia* та *Pantoea* (клас Гаммапротеобактерії). Бобові, зокрема соя (*Glycine max*), які належать до родини Fabaceae, є рослинами, що асоціюються з PGPR; утворення корневих бульбочок у сої є результатом симбіозу з азотфіксуючими бактеріями (Igiehon and Babalola 2018).

PGPR є важливим компонентом ґрунту, оскільки вони оптимізують поглинання поживних речовин, сприяючи росту рослин (Verma et al. 2017). Вони мобілізують та розчиняють поживні речовини, а також пригнічують дію патогенних мікроорганізмів (Francioli et al. 2018).

Ключові механізми PGPR:

- Фіксація азоту (N): Азот є життєво важливим елементом.

Фіксація азоту полягає у перетворенні атмосферного азоту на аміак за допомогою ферменту нітрогенази (Choudhary and Varma, 2017). Серед мікроорганізмів, що фіксують біологічний азот (наявний ген *nif*), виділяють симбіотичні та вільноживучі бактерії: *Herbaspirillum*, *Bradyrhizobium*, *Mesorhizobium*, *Rhizobium*, *Achromobacter*, *Frankia*, *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Azoarcus* та *Azotobacter* (Xu et al. 2017; Mus et al. 2018).

- Солубілізація фосфатів: PGPR перетворюють недоступний для рослин фосфор ґрунту в рухливі форми (Etesami et al. 2017). У цьому процесі беруть участь *Pseudomonas* spp., *Agrobacterium* spp., *Rhizobium* spp., *Bacillus* spp. та *Enterobacter* spp.. Механізми включають продукування вуглекислого

газу, органічних і неорганічних кислот, вивільнення ферментів (Khare and Yadav 2017).

1.5.2. Арбускулярні мікоризні гриби (АМГ)

Симбіотичні асоціації між корисними ґрунтовими грибами та корінням рослин, відомі як мікориза, є основною характеристикою більшості рослин (Rich et al. 2017). Цей мутуалістичний зв'язок ґрунтується на обміні поживними речовинами: гриб отримує вуглеводи та ліпіди (органічну речовину) від рослини (Luginbuehl et al. 2017), а натомість АМГ виконують важливі екологічні функції, такі як регулювання поживних речовин, агрегація ґрунту, підтримка виживання саджанців та розкладання органічної речовини (Powell and Rillig 2018).

Симбіоз підвищує толерантність рослин до різних умов і позитивно впливає на їхню продуктивність (Santander et al. 2017). АМГ допомагають рослинам збалансувати концентрацію мікроелементів, зменшуючи стрес від їх надлишку (механізм детоксикації) або підвищуючи абсорбцію у дефіцитних умовах (цинк, мідь, залізо, марганець) (Canton et al. 2016; Loo et al. 2018; Mahanty et al. 2017; Nanda and Wissuwa 2016). Ефект АМГ залежить від виду рослини, що бере участь у симбіозі.

1.6. Підвищення ефективності фотосинтезу та використання мінеральних добрив

Фотосинтез є ключовим процесом, існують різноманітні підходи до підвищення його ефективності, починаючи від генетичного моделювання та селекції, і закінчуючи агротехнологіями (Morales et al, 2020; Smith et al,

2023). Ці технології спрямовані на збільшення площі листової поверхні, оптимізацію транспірації та максимально ефективно поглинання сонячної енергії.

Важливим технологічним чинником інтенсифікації фотосинтезу та, як наслідок, накопичення сухої речовини, формування врожайності та спрямованої якості зерна, є система удобрення. Активність фотосинтетичних процесів залежить від комплексу факторів, включаючи видові та сортові особливості культур, ґрунтово-кліматичні умови, а також рівень забезпечення рослин поживними елементами (Smith et al, 2023). Оскільки процеси фотосинтезу, дихання та наростання листової поверхні безпосередньо впливають на ріст, розвиток і швидкість накопичення органічної маси, вони визначають кінцеву структуру та врожайність. Традиційно азот вважався основним обмежуючим елементом для глобального росту рослинності. Однак сучасні дослідження вносять корективи: S. Wang аналітично доводить, що протягом останніх чотирьох десятиліть фосфор став сильніше обмежувати глобальний фотосинтез, ніж азот (Wang et al, 2025).

Існує два основні механізми збільшення накопичення сухої речовини через фотосинтез:

1. Подовження вегетаційного періоду.
2. Підвищення ефективності поглинання та перетворення світла посівами, що досягається переважно через збільшення площі листової поверхні.

Подовження вегетації реалізується через генетичні механізми та

систему удобрення, яка також критично впливає на формування та функціональну активність листової поверхні (Холодченко Р.М., 2014).

1.7. Важливість фосфору та застосування мікроорганізмів

1.7.1. Проблема низької ефективності фосфорних добрив

Питання підвищення ефективності використання фосфорних добрив є вкрай актуальним. Хоча фосфор широко представлений у літосфері, його форма, доступна для рослин (неорганічний ортофосфат), є малорозчинною та повільно дифундує в ґрунті (Волкогон В.В. та ін., 2021). Це спричиняє дефіцит фосфору у сільськогосподарських угіддях. Неefективність фосфорних добрив вражаюча: рослини засвоюють лише 15–25% внесеного фосфору, тоді як решта вимивається, призводячи до деградації ґрунту та евтрофікації водних об'єктів (Paz-Ares et al, 2022).

1.7.2. Роль мікробних препаратів у живленні рослин

Для покращення засвоєння елементів живлення з мінеральних добрив мікробіологи рекомендують поєднувати мінеральні добрива із застосуванням мікробних препаратів (бактеризація насіння) (Волкогон В.В. та ін., 2021).

Використання біопрепаратів значно збільшує коефіцієнти засвоєння діючої речовини культурними рослинами (Smith et al, 2019).

Мікроорганізми, асоційовані з рослинами, мають потужний потенціал для вирішення проблем дефіциту поживних речовин, відіграючи вирішальну роль у збільшенні біомаси та врожайності сільськогосподарських культур (Kowalski et al, 2022). Корисні механізми їхньої дії на ріст рослин охоплюють:

- Підвищення доступності поживних речовин.
- Модуляцію фітогормонів.
- Біологічний контроль фітопатогенів.
- Пом'якшення біотичних та абіотичних стресів.

Застосування корисних мікробіомів як біодобрив стало інноваційною та екологічно чистою технологією у практиках сталого сільського господарства для підвищення родючості ґрунту (Fasusi et al. 2021). Ці мікроби філогенетично різноманітні і взаємодіють з рослинами різними способами (симбіоз, паразитизм, коменсалізм тощо) (Glick, Gamalero, 2021). Оскільки ріст мікробів залежить від фотосинтезу рослин, і вони одночасно впливають на ріст рослин, їх спільно називають рослинним мікробіомом (Потапов А.В., Грабовський М.Б., 2023).

1.7.3. Мобілізація фосфору ґрунтовою мікробіотою

Визначальним фактором мобілізації фосфору для рослин є життєдіяльність ґрунтової мікробіоти, а саме мікроорганізмів, які здатні перетворювати важкорозчинні фосфати у форму, доступну для рослин, а також продукувати фізіологічно активні речовини (Johnston et al, 2014).

Особливе значення мають мікоризні гриби. Їхні гіфи проникають у клітини кореня, утворюючи везикули та арбускули. Після заселення кореневої системи, мікоризні гриби поширюються в ґрунт у вигляді абсорбуючих ниток, що значно збільшує поглинання рослиною води та поживних речовин (Brisson et al, 2022).

1.8. Вплив АМГ та PGPR на стійкість рослин до абіотичних стресів

Комбіноване застосування АМГ та PGPR є одним із найбільш ефективних інструментів для забезпечення сталого сільського господарства.

1.8.1. Підвищення посухостійкості

АМГ є ефективним засобом підвищення посухостійкості рослин, що сприяє продовольчій безпеці (Cardoso et al. 2017). Взаємний зв'язок між рослиною та АМГ модифікує архітектуру кореня (змінюючи довжину, кількість бічних коренів та щільність). Це дозволяє позаклітинним гіфам грибів у ризосфері виходити за межі зони виснаження і ефективніше поглинати воду та поживні речовини в умовах дефіциту вологи.

1.8.2. Зменшення впливу несприятливого рН ґрунту

Рослини чутливі до змін рН ґрунту. АМГ зменшують негативну дію лужності на врожай, підтримуючи високий вміст хлорофілу в листках.

1.9. Синтез знань: Синергія АМГ та PGPR у вирощуванні сої

1.9.1. Регуляторна реакція та взаємодія *Bradyrhizobium* та АМГ

Взаємодія *Bradyrhizobium* та арбускулярних мікоризних грибів (АМГ) є критично важливою для ризосферних процесів і продуктивності сої (*Glycine max* L.). Синергічна взаємодія цих мікроорганізмів стимулює ріст і розвиток сої завдяки посиленому засвоєнню ключових мінеральних поживних речовин (азоту та фосфору) та покращенню стану ризосфери (Shweta, 2024).

Посилення азотфіксації кореневими бульбочками разом із синергізмом, опосередкованим АМГ, оптимізує живлення та поглинання рослиною фосфору (P), а також стимулює розмноження фосфат-солюбілізуючих грибів.

Для формування стійких систем виробництва сої необхідне більш глибоке

розуміння ефектів спільного щеплення *Bradyrhizobium* та АМГ, щоб створити оптимізовані комбінації інокулянтів.

Варто відзначити, що внесення фосфору може бути ключовим чинником для покращення показників росту сої, особливо в системах з обмеженою кількістю цього елемента. Подвійна інокуляція грибів АМ та *V. japonicum* продемонструвала кращий ріст, врожайність, колонізацію та бульбашковість у рослин сої порівняно з інокуляцією лише АМГ (Shweta, 2024).

1.9.2. Вплив на фізико-хімічні властивості ґрунту

Окрім вуглецю, інокуляція АМГ впливає на фізичні властивості:

- Покращення структури ґрунту: Гломалін зміцнює ґрунтові агрегати, покращуючи аерацію, водопроникність та стійкість до ерозії.

Концентрація гломаліну корелює зі стабільністю агрегатів. Дослідження (Rillig et al. 2015) продемонстрували збільшення макроагрегатів на 22% у піщаних ґрунтах при інокуляції сої.

- Підвищення водоутримуючої здатності: Стабільні агрегати та мережа гіфів сприяють утриманню вологи. Дослідження Zhang et al. (2020) показало покращення вологоутримуючої здатності ґрунту на 18%, підвищуючи адаптацію рослин до посухи.

- Оптимізація хімічного складу: Інокуляція покращує доступність фосфору, калію та азоту, зменшуючи їх вимивання. Wang et al. (2019) встановили підвищення доступного фосфору на 20%. Smith & Read (2020) виявили стимулювання фосфатазних ферментів, що перетворюють органічний фосфор на доступну форму.

- Покращення мікробіологічної активності: АМГ створюють сприятливе середовище для корисної мікрофлори, включаючи азотфіксуючі бактерії. Veresoglou et al. (2021) зафіксували підвищення активності азотфіксації на 25% у мікоризованої сої.

1.10. Агроекологічна значущість використання мікоризи

Використання АМГ є важливим елементом екологічного землеробства та сталого розвитку.

- Зменшення потреби в добривах: Застосування АМГ дозволяє знизити дози мінеральних добрив (особливо фосфорних та азотних) до 30% без втрати врожайності (Hart et al. 2022).

- Стійкість до стресів та патогенів: Інокуляція підвищує стійкість до посухи та засолення (Wu; Xia, 2021). АМГ також знижують рівень ураження кореневими патогенами (*Phytophthora sojae*, *Fusarium* spp.) на 40% (Nelson et al., 2021).

Стан систематизації досліджень. Питання інтегрованого застосування інокулянтів і АМГ на сої є предметом активного наукового інтересу у світовій агрономії. В літературі існує значна кількість досліджень, які підтверджують позитивний вплив як окремих інокулянтів, так і АМГ на ріст, розвиток та урожайність сої. Дані щодо механізмів взаємодії між *Bradyrhizobium japonicum* та АМГ (так званий «потрійний симбіоз» рослина – бактерія – гриб) не є повністю систематизованими та однозначними. Хоча багато робіт вказують на синергетичний ефект (спільна дія дає кращий результат, ніж їхня сума), інші дослідження фіксують нейтральні або

антагоністичні взаємодії, залежно від:

- ✓ Конкретних штамів бактерій та видів грибів.
- ✓ Рівня фосфорного живлення у ґрунті.
- ✓ Сортових особливостей сої.

Таким чином, незважаючи на загальне визнання позитивного впливу, існує необхідність у подальшій систематизації та регіональному уточненні даних, особливо стосовно ефективності конкретних комбінацій мікробних препаратів в умовах вітчизняного ґрунтового-кліматичного поясу. Дослідження має на меті доповнити та уточнити ці знання, надавши практично значущі рекомендації.

1.11. Висновки огляду та перспективи досліджень

PGPR та АМГ пропонують недорогі та екологічно безпечні шляхи для зменшення залежності від синтетичних добрив і засобів захисту рослин.

Для забезпечення глобальної продовольчої безпеки необхідні стійкі аграрні практики, що не шкодять довкіллю. Тому науковцям слід зосередитися на застосуванні корисних мікроорганізмів як мікробних інокулянтів, що сприятиме збільшенню виробництва продуктів харчування та сталості сільського господарства (Desai et al. 2016).

Подальші дослідження мають бути спрямовані на розробку комплексних біопрепаратів, що містять як АМГ, так і корисні бактерії, а також на адаптацію їх застосування до різних умов та культур. Синергічний ефект цих двох груп інокулянтів дозволяє значно підвищити ефективність аграрного виробництва та забезпечити сталий розвиток агроecosистем.

Розділ 2. МІСЦЕ, УМОВИ ТА МЕТОДИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Місце та умови проведення дослідження

Дослідження впливу арбускулярно-мікоризних грибів (АМГ) та інокулянтів на продуктивність сої було проведено протягом 2025 року на експериментальних полях (навчально-дослідному полігоні) Білоцерківського району Київської області, в околицях села Пшеничне.

Місце розташування: Київська область, зона Лісостепу України. Географічні координати району проведення досліду: 50.089177, 30.214763. Ґрунтовий покрив: Територія характеризується типовими для Правобережного Лісостепу чорноземами опідзоленими (або чорноземами типовими малоґумусними). Ці ґрунти мають сприятливі агрофізичні та агрохімічні властивості:

- Гранулометричний склад: зазвичай середньосуглинковий.
- Вміст гумусу: середній (зазвичай в межах 3,0–4,5% у верхньому шарі).
- Кислотність (рН): слабокисла або близька до нейтральної (рН 5,6–6,5).

Значення: Вибір цієї локації є репрезентативним для вирощування сої в умовах помірного континентального клімату з можливими періодами нестачі вологи, що дозволяє об'єктивно оцінити ефективність об'єктів дослідження у реальних виробничих умовах.

Успіх польового експерименту значною мірою залежить від конкретних погодно-кліматичних та ґрунтових умов, що склалися впродовж року дослідження (2025 р.).

Ґрунтовий покрив: Територія характеризується типовими для Правобережного Лісостепу чорноземами опідзоленими (або чорноземами типовими малоґумусними). Ці ґрунти мають сприятливі агрофізичні та агрохімічні властивості:

- Гранулометричний склад: зазвичай середньосуглинковий.

- Вміст гумусу: середній (зазвичай в межах 3,0–4,5% у верхньому шарі).
- Кислотність (pH): слабокисла або близька до нейтральної (pH 5,6–6,5).

Таблиця 2.1. Характеристика орного шару ґрунту

Показник	Одиниця виміру	Значення
Вміст гумусу	%	3,8–4,2
Азот, що легко гідролізується	мг/100 г ґрунту	90–120
Рухомий фосфор (P ₂ O ₅)	мг/100 г ґрунту	15–20 (середній рівень)
Обмінний калій (K ₂ O)	мг/100 г ґрунту	180–220 (підвищений рівень)
pH сольової витяжки (pH _{сол})	-	6,0–6,5 (близький до нейтрального)

Вибір цієї локації є репрезентативним для вирощування сої в умовах помірного континентального клімату з можливими періодами нестачі вологи, що дозволяє об'єктивно оцінити ефективність об'єктів дослідження у реальних виробничих умовах.

Погодні умови 2025 року були оцінені шляхом аналізу даних метеостанції, найближчої до місця проведення дослідів.

Таблиця 2.2. Погодні умови вегетаційного періоду, 2025 р.

Період	Середньодобова температура повітря	Кількість опадів	Характеристика
Посів (Травень)	Близька до норми (15-18С)	Достатня (підвищена)	Сприятливі умови для набухання та проростання насіння.
Вегетація (Червень-Липень)	Вища за норму (22-25С)	Достатня	Сприятливі умови в період цвітіння та формування бобів.

Період	Середньодобова температура повітря	Кількість опадів	Характеристика
Налив насіння (Серпень)	Висока (20-23С)	Трохи менше норми, проте достатня для формування врожаю	Сприятливі умови для формування та дозрівання насіння.
Збирання (Вересень)	У нормі	Дещо надмірна	Через опади важко збирати врожай, треба ловити «вікна» без опадів

Висновки щодо умов: Вегетаційний період 2025 року характеризувався нерівномірним розподілом опадів, зокрема надмірна кількість опадів під час збирання врожаю. Температура ґрунту у травні була надто низькою, що спричинило затримку сходів і більш розтягнутий період вегетації. У фазі генеративного розвитку сої (липень–серпень) кількість опадів була трошки менше норми, проте запас вологи з червня залишився достатнім для нормального формування квіток і наповнення бобів насінням. Такі умови частково створили стресове тло, що є особливо цінним для оцінки ефективності біопрепаратів, оскільки АМГ та інокулянти здатні підвищувати стійкість рослин до абіотичних стресів.

2.2. Методи проведення дослідження

Дослід закладався у триразовій повторності. Площа облікової ділянки становила 54 м².

Протягом вегетації сої та після збирання врожаю застосовувалися загальноприйнятні методики польового та лабораторного аналізу, адаптовані для агрономічних досліджень з бобовими культурами.

Облік польової схожості та густоти стояння рослин

- Мета: Визначення фактичної кількості рослин, що проросли.

- Методика: Облік проводили у фазі 1–2 трійчастих листка. На кожній обліковій ділянці відбирали два відрізки 1 м * 1 м і рахували кількість рослин, що зійшли.
- Показники: Розраховували польову схожість (%) та визначали густоту стояння рослин (тис. од./га).

Біометричні обліки та визначення елементів структури врожаю проводили у ключові фази розвитку (цвітіння, формування бобів, повна стиглість).

1. Висота рослин та кількість листків:

Методика: Відбирали 8 типових рослин у кожній повторності. Вимірювання висоти проводили від рівня ґрунту до верхівки стебла.

2. Розрахунок площі листової поверхні (методом висічок):

Методика: Під час максимального розвитку листового апарату відбирали 8 рослин. З них відрізували типові листки, з яких спеціальним пробійником робили висічки (площа однієї висічки 1,13 см²).

Розрахунок: Висічки зважували, визначали їхню загальну площу. Окремо зважували усю відібрану листову масу. Далі розраховували площу листя і чисту продуктивність фотосинтезу.

3. Облік бульбочок:

Методика: У фазі цвітіння (R2) та у фазі формування бобів (R4) відбирали 8 рослин із кореневою системою. Корені очищали від ґрунту.

Показники: Підраховували кількість бульбочок на одній рослині, кількість бульбочок на 8 рослинах (відібраний зразок).

Збирання врожаю та аналіз якісних показників.

1. Облік урожайності:

Методика: Проводили ручним обкошуванням облікових ділянок. З кожної дослідної ділянки відбирали 5 відрізків 1 м * 1 м, щоб загальна площа для

визначення врожаю становила 5 м². Рослини молотили з метою відділити насіння. Зібране насіння зважували.

Урожайність із кожного варіанту розраховувалась у т/га.

2. Визначення елементів структури урожаю:

Методика: із врожаю кожної ділянки відбирали репрезентативну пробу, з якої аналізували 30 типових рослин.

Показники: Визначали висоту прикріплення нижнього боба, кількість бобів на рослині, кількість насінин у бобі та масу 1000 насінин (г).

3. Якісні показники насіння:

Лабораторний аналіз: Проводили визначення вмісту сирого протеїну та олії у насінні сої за допомогою стандартних методів.

Значення: Ці показники необхідні для оцінки якісної ефективності застосування досліджуваних препаратів.

Всі дані підлягали статистичній обробці з використанням відповідного програмного забезпечення для встановлення достовірності результатів.

2.3. Схема дослідження та опис продуктів, які використовувались

Нижче у таблиці зображено схему проведення дослідження (таблиця 2.3.). Кожен варіант досліду складається з 3 повторностей. Довжина поля 50 м. Ширина поля 70 м. Довжина однієї ділянки $50 \div 3 = 16,7$ м, ширина однієї ділянки = 19 см (ширина міжряддя) * 17 (кількість міжрядь) = 3,24 м. Площа однієї дослідної ділянки $16,7 \text{ м} * 3,24 \text{ м} = 54,1 \text{ м}^2$.

Для проведення дослідження було використано один сорт сої, два різні фунгіцидні протруйники, два різні інокулянти та один арбускулярно-мікоризний гриб (АМГ) в одній мінімально рекомендованій нормі застосування.

Оскільки метою дослідження є вплив на рослину сої інокулянтів у поєднанні з АМГ, сортові особливості сої, норми використання арбускулярно-мікоризного гриба є вторинними факторами, тому було використано один сорт і одну норму АМГ. Що стосується фунгіцидних протруйників та інокулянтів, було застосовано одну норму протруйників та інокулянтів, відповідно до їх реєстрації та практичного застосування.

Таблиця 2.3. Схема досліду, Кобуко

1	Контроль (Максим XL 1 л/т)
2	Максим XL 1 л/т + МікоАпплай 4 г/га
3	Максим XL 1 л/т + МікоАпплай 4 г/га + ХіСтік 0,4 кг/га
4	Вайбранс RFC 1 л/т + МікоАпплай 4 г/га + ХіСтік 0,4 кг/га
5	Максим XL 1 л/т + МікоАпплай 4 г/га + Профікс 0,25 кг/га
6	Вайбранс RFC 1 л/т + МікоАпплай 4 г/га + Профікс 0,4 кг/га

Сорт сої

Для проведення дослідження було використано новий сорт сої вітчизняної селекції Кобуко.

Заявник та Власник сорту: Інститут кормів та сільського господарства Поділля Національної академії аграрних наук України.

Рік державної реєстрації майнового права інтелектуальної власності на поширення: 2023; Свідоцтво про державну реєстрацію №: 231062 від 22.11.2023 р.

Оскільки це новий сорт сої, інформації про нього у відкритих джерелах вкрай мало, і єдиним достовірним відкритим джерелом є

<http://sort.sops.gov.ua/cultivar/view/20489>

Мінеральне живлення

За 7 днів до посіву (24.04.2025), на дослідній ділянці було внесено нітроамофоску (NPK 16:16:16) у розрахунку 60 кг/га кожного мінерального елемента з подальшою передпосівною заробкою добрив у ґрунт наступного дня після внесення. Внесення добрив проводилось вручну, після підрахунку кількості добрив, необхідних для забезпечення удобрення кожної окремої ділянки (54,1 м²) шляхом рівномірного розкидання добрив по кожній ділянці. Заробка добрива в ґрунт проводилась з допомогою культиватора 25.04.2025 о 12:00-13:00. Під час внесення і заробки добрив погода була похмурою та майже безвітряною, при температурі повітря 15-17°C, вологості 55-59% температурі верхнього шару ґрунту 8-10°C.

Фунгіцидні протруйники

Як стандарт було застосовано Максим XL (Syngenta) у нормі 1,0 л/тону насіння.

Діючі речовини: Флудиоксоніл, 25 г/л; Металаксил–М, 10 г/л.

Спектр дії: пліснявиння насіння, фузаріозна коренева гниль, пероноспороз, аскохітоз.

Препаративна форма: Текучий концентрат суспензії.

Клас токсичності: III

Переваги препарату:

- Препарат системної і контактної дії для боротьби з ґрунтовими й насінневими інфекціями та хворобами сходів;
- Зберігає оптимальну густоту здорових молодих рослин;
- Системна дія для знищення внутрішньої інфекції;
- Можливість зберігання обробленого насіння протягом 3 років без втрати ефективності продукту.

Максим XL застосовано на 4 із 6 варіантах дослідження, як на контрольному варіанті, так і разом з інокулянтами і АМГ.

Оскільки поєднання фунгіцидного протруйника з інокулянтами і АМГ мають важливе значення у дослідженні, і ефективність таких комбінацій може відрізнятись в залежності від протруйника, на 2 із 6 варіантах було застосовано інший фунгіцидний протруйник, а саме Вайбранс RFC.

Вайбранс RFC (Syngenta) у нормі 1,0 л/тону насіння має наступні характеристики:

Діючі речовини: Флудиоксоніл, 25 г/л; Металаксил–М, 37,5 г/л; Седаксан 50 г/л.

Спектр дії: фузаріоз, кореневі і прикореневі гнилі, в т. ч. ризоктоніоз, пероноспороз, біла гниль, аскохітоз, септоріоз.

Препаративна форма: Текучий концентрат для обробки насіння.

Клас токсичності: II

Переваги препарату:

- Сучасна формуляція, розроблена для одночасного нанесення з інокулянтами;
- Надійний фунгіцидний захист у сівозмінах, насичених просапними культурами;
- Стимулює розвиток кореневої системи на всіх типах ґрунтів
Подовжений захист від усіх форм корневих і прикорневих гнилей та пероноспорозу;
- Формула М у складі протруйника забезпечує краще утримання препарату на насінні та ідеальну якість протруювання.

Інокулянти

У дослідженні було застосовано два інокулянти, один з яких – ХіСтік Соя від BASF, а інший – Профікс від Certis Belchim. Так, ХіСтік Соя містить бактерії виду *Bradyrhizobium japonicum* (штам 532 С), тоді як Профікс, окрім бактерій виду *Bradyrhizobium japonicum* (штам 532 С), додатково містить бактерії виду *Bradyrhizobium Diazoefficiens* штам SEIMA 5079 та SEIMA 5080.

Оскільки для дослідження важливо перевірити взаємодію АМГ як з *Bradyrhizobium japonicum* (штам 532 С), так і з штамами бактерій SEIMA 5079 та SEIMA 5080.

ХіСтік Соя (BASF)

Препаративна форма: Стерилізований торф

Діюча речовина: бактерії виду *Bradyrhizobium japonicum* (штам 532 С) титр не менше 2×10^9 живих КУО на 1г препарату.

Норма витрати: 400 г (1 пакет) на 100 кг насіння.

Спектр дії: сприяє акумуляції рослиною азоту в доступній формі завдяки підвищенню симбіотичного потенціалу рослини з бульбочковими бактеріями

Переваги препарату:

- Стабільний урожай за несприятливих умов вирощування;
- Оптимальна фіксація атмосферного азоту навіть за стресових умов;
- Ідеальний вибір для малих та середніх об'ємів насіння;
- Сумісний майже з усіма протруйниками та іншими ЗЗР;
- Тривалий термін зберігання – можливість використати у наступному сезоні.

Профікс (Certis Velchim)

Препаративна форма: Стерилізований торф

Діючі речовини: *bradyrhizobium diazoefficiens* штам SEIMA 5079 та SEIMA 5080 + *bradyrhizobium japonicum* штам USDA442 (532С), 5×10^9 КУО/г.

Норма витрати: 250 г на 100 кг насіння

Спектр дії: Фіксація атмосферного азоту, підвищення врожайності. Бактерії фіксують атмосферний азот (N_2), переводять його в доступну форму (NH_4^+) і передають його рослині.

Переваги препарату:

- Має три штами бактерій, SEIMA 5079, SEIMA 5080, USDA442 (532С);

- Торф'яна основа оброблена антисептиком, що забезпечує абсолютну стерильність упаковки. Використанням «асептичного» наповнювача, гарантує дотримання чистоти культури бактерій;
- Після нанесення на насіння можна висівати впродовж 48 годин;
- Формування бульбочок вже на 10-14 день після сходів;
- Легко та якісно наноситься на насіння. Можливість проведення сухої інокуляції безпосередньо в бункерах сівалки;
- Тривалий термін зберігання – можливість використання в наступному сезоні;
- Продукт зручний у зберіганні. Не потребує спеціального холодильного обладнання, або інших спеціальних сховищ.

Арбускулярно-мікоризний гриб (АМГ)

Для дослідження було обрано препарат на основі арбускулярно-мікоризних грибів МікоАпплей, оскільки це єдиний АМГ препарат, який містить у своєму складі 4 види *Glomus* (ендомікоризних грибів).

Назва препарату: МікоАпплей (MycosApply), ЗП

Виробники, заявники препарату: Сумітомо Кемікал Агро Юроп (заявник)

Mycorrhizal Applications, LLC. (виробник).

Призначення препарату: біопрепарати

Діючі речовини: асоціація 4-х ендомікоризних грибів *Glomus intraradices*, *Glomus luteum*, *Glomus etunicatum*, *Glomus claroideum* – 1-8% – 24600 проп/грам.

Переваги препарату:

- На початковому етапі розвитку соя дуже чутлива до фосфорного живлення, застосування МікоАпплей ЗП за рахунок утворення мікоризи, сприяє поглинанню фосфору та переведенню важкодоступних форм в доступні;

- Розвиток ризобактерій та активна фіксація азоту залежить від забезпеченості рослин фосфором. Мікориза покращує поглинання фосфору та дозволяє ризобактеріям максимально розкрити свій потенціал;
- Соя дуже чутлива до забезпеченості вологою, коренева система рослин з мікоризою грибів краще поглинає і більш раціонально використовує ґрунтову вологу. Площа поглинання збільшується в десятки разів і рослина отримує воду яку звичайні корені не можуть дістати;
- Рослина колонізована мікоризоутворюючими грибами краще споживає P, K, Ca, Mg, Zn, Mn а також інші мікроелементи;
- Сприяє посиленому росту кореневої системи;
- Посилює поглинання води та засвоєння рослинами поживних речовин із ґрунту (особливо фосфор, калій та мікроелементи);
- Підвищує імунітет та стійкість рослин до несприятливих умов навколишнього середовища;
- Безпечний для сільськогосподарських культур та навколишнього середовища;
- 100% натуральний продукт, сертифікований для використання в органічному землеробстві.

Розділ 3. ТЕХНОЛОГІЧНІ ОПЕРАЦІЇ В ДОСЛІДІ

3.1. Протруєння насіння

Протруєння насіння фунгіцидними протруйниками проводилось ввечері напередодні дня посіву (30.04.2025 о 21:00-23:55). Насіння було розфасоване у мішки з розрахунку один мішок на одну дослідну ділянку. Один такий мішок це 5,0 кг насіння сої. Розраховувалась відповідна кількість фунгіцидних протруйників (на кожен мішок), інокулянтів та АМГ. Протруєння відбувалося наступним чином: 1) мішок насіння висипається на поліетиленову плівку і рівномірно по ній розподіляється 2) 5 мл протруйника (із розрахунку на 5 кг насіння сої) розбавляється 45 мл води, загальний об'єм розчину 50 мл³), робочий розчин наноситься рівномірно спреєм на насіння і ретельно перемішується 4) протруєне насіння пересипається у мішок.

Протруєння насіння інокулянтами та АМГ проводилось зранку в день посіву 01.05.2025 о 07:30-09:30. Використовувались мішки з вже розфасованим насінням, протруєним фунгіцидним протруйником. Мішок з насінням висипався і рівномірно розподілявся по поліетиленовій плівці, зверху наносився інокулянт і АМГ, перемішування проводилось лопатою до рівномірного нанесення інокулянта та АМГ на протруєне насіння. На відміну від протруєння фунгіцидними протруйниками, протруєння інокулянтами і АМГ було сухим (вода не додавалась, а просто наносився торф (інокулянти) або порошок (АМГ) і відбувалось перемішування).



Рис. 1. Протруєння насіння сої фунгіцидним протруйником





Рис. 2. Протруєння насіння сої інокулянтom і АМГ

3.2. Посів

Посів сої проводився 01.05.2025 р на Агростанції НУБІП біля с.Пшеничне (Білоцерківський район) у період з 13:00 до 16:00 за наступних умов: відсутність опадів протягом тижня до посіву і в день посіву (сонячна і трохи вітряна погода) за температури повітря +17..+19°C, вітер 8-10 м/с, вологості повітря 36-39%, температура на поверхні ґрунту +12..+14° С у оброблений, пухкий ґрунт (культивация за день до посіву).

Сівалка GreatPlains 3P606NT, міжряддя 19 см, 9 сошників. Для посіву сої використовувались усі сошники. По кожному варіанту дослідів сівалка проходила до кінця поля, розверталася і проходила у зворотній бік. Робоча ширина захвату сівалки 1,52м, таким чином кожний варіант дослідів це 50м * 3,24м. Одна дослідна ділянка це 18 рядів сої з міжряддям 19 см та кількістю 12-14 насінин у ряду на погонний метр. Технічні характеристики сівалки: <https://www.greatplainsag.com/uk/products/766/компактна-сівалка-606nt>.

Налаштування сівалки: 64 оберти на 3 швидкості. Швидкість посіву 7-8 км/год



Рис. 3. Налаштування посіву потрібної кількості насіння на погонний метр



Рис. 4. Огляд дослідної ділянки перед посівом



Рис. 5. Контроль посіву «на ходу» щоб уникнути забивання сошників та пропусків посіву у рядках

3.3. Захист сої від патогенів

3.3.1. Внесення ґрунтового гербіциду

Наступний день після посіву, 02.05.2025 було внесено ґрунтовий гербіцид для раннього контролю бур'янів о 11 ранку. Погодні умови були дуже близькими

до тих, які були в день посіву. Було застосовано гербіцид Примекстра TZ Gold 500 (Syngenta) у нормі 4,5 л/га з кількістю робочого розчину 200 л/га. На щастя, наступні дні, а саме 03.04 і 04.04 пішли дощі. Це суттєво збільшило шанси спрацювання гербіциду і його ефективність, адже ми сіяли в сухий ґрунт і гербіцид також було внесено в сухий ґрунт.



Рис. 6. Внесення ґрунтового гербіциду

3.3.2. Внесення страхових гербіцидів

Під час планового обстеження посівів, за два тижні після сходів було виявлено двосім'ядольні та злакові бур'яни, а саме лободу білу, гірчаки шорсткий, почечуйний та березковидний, гірчицю польову, падалицю соняшнику, мишії сизий та зелений, плоскуху і прийнято рішення стосовно внесення суміші страхових гербіцидів для контролю двосім'ядольних бур'янів.

06.06.2025 р дослідну ділянку було оброблено баковою сумішшю Базагран (BASF) 1,8 л/га + Хармоні (FMC) 8 г/га + ПАР Тренд (FMC) 0,25 л/га. Повторний огляд дослідної ділянки через 4 дні після обробки показав спрацювання і високу ефективність дії бакової суміші у боротьбі з двосім'ядольними бур'янами. Стосовно злакових бур'янів, було проведено їх прополку вручну.





Рис. 7. Внесення бакової суміші страхових гербіцидів

3.3.3 Фунгіцидно-інсектицидний захист

Фунгіцидно-інсектицидний захист посівів сої на досліджуваних ділянках передбачав разове внесення бакової суміші фунгіциду Амістар Голд (Syngenta) у нормі 0,8 л/га + інсектициду Енжіо (Syngenta) у нормі 0,18 л/га + Кормін бобовий з бором у нормі 1,0 л/га

Дата обробки 25.07.2025 р.

3.3.4. Загальна технологія захисту посівів сої

Таким чином, загалом протягом вегетації було застосовано ґрунтовий гербіцид Примекстра TZ Gold 500 у нормі 4,5 л/га, бакову суміш страхових гербіцидів Базагран 1,8 л/га + Хармоні 8 г/га + ПАР Тренд 0,25 л/га та фунгіцидно-інсектицидний обробіток Амістар Голд 0,8 л/га + Енжіо 0,18 л/га + Кормін бобовий з бором 1,0 л/га. Цієї технології захисту було достатньо для даного регіону і даних погодно-кліматичних умов, щоб забезпечити

нормальну вегетацію сої і мінімізувати негативний вплив патогенів на рослину.

Хоча метою дослідження не є технологія захисту сої, її необхідно було впроваджувати для забезпечення вегетації здорових від хвороб і шкідників посівів, проте найбільшу загрозу для рослин становили бур'яни, і відсутність гербіцидного захисту гарантовано призвела б до 20-30% зниження врожайності.

Всі препарати добре спрацювали і забезпечили надійний захист сої. Рік у зоні проведення дослідження в цілому був доволі вологий, що позитивно вплинуло на розвиток рослин, і в той же час сприяло активній вегетації бур'янів.

РОЗДІЛ 4. ОСОБЛИВОСТІ РОСТУ ТА РОЗВИТКУ РОСЛИН СОЇ

4.1. Польова схожість насіння

Сою на дослідних ділянках було посіяно 01.05.2025, а сходи з'явилися 19.05.2025. Попри те, що було достатнє вологозабезпечення, затримка сходів була обумовлена в першу чергу температурою ґрунту. Всі інші чинники були сприятливі для більш ранніх сходів, проте перші дві декади травня 2025 були доволі прохолодними, ґрунт прогрівався слабо. В цілому, поява сходів була розтягнена у часі на 10-14 днів.

Облік польової схожості рослин проводився в два періоди, а саме 02.06.2025 і 09.06.2025. Для обліку польової схожості було застосовано саморобну лінійку агронома 1 м² (100см x 100см). Рахувалася кількість пророслих рослин в середині лінійки, у трьох повторностях на кожному із варіантів, потім

виводилось середнє значення з трьох повторностей. Через тиждень після першого обліку, було проведено другий (контрольний) облік, через вірогідність того, що під час першого обліку не всі рослини зійшли.

Таблиця 4.1. Польова схожість сої, перший облік, перший трійчастий листок

№	Варіант	Кількість сходів на 1м ²	Польова схожість, %
1	Контроль (Максим XL)	50,1	87,9%
2	Максим XL + МікоАпсплай	53,7	94,1%
	Максим XL + МікоАпсплай + ХіСтік	49,1	86,0%
4	Вайбранс RFC + МікоАпсплай + ХіСтік	51,7	90,7%
	Максим XL + МікоАпсплай + Профікс	55,8	97,9%
6	Вайбранс RFC + МікоАпсплай + Профікс	51,9	91,1%

Польова схожість на 14-й день після сходів становила від 86% до 97,9%. Найнижчу схожість мав варіант 3 (Максим XL + МікоАпсплай + ХіСтік) – 86,0% та варіант 1 (контроль) – 87,9%. Найвища польова схожість зафіксована на варіанті Максим XL + МікоАпсплай + Профікс – 97,9%. Варіанти дослідів з протруйником Вайбранс RFC мали схожість 90-91%. Через тиждень було повторно проведено обліки польової схожості, оскільки на момент першого обліку деякі рослини могли ще не зійти по причині низької температури ґрунту.

Повторний облік польової схожості відображено у таблиці 4.2. Його було проведено через тиждень після першого обліку.

Таблиця 4.2. Польова схожість сої, другий облік, другий трійчастий листок

№	Варіант	Посіяно, насінин на 1м ²	Зійшло рослин на 1м ²	Польова схожість, %
1	Контроль (Максим XL)	57	50,6	88,8%
2	Максим XL + МікоАпсплай	57	54,2	95,1%

3	Максим XL + МікоАпплай + ХіСтік	57	49,6	87,0%
4	Вайбранс RFC + МікоАпплай + ХіСтік	57	52,2	91,6%
5	Максим XL + МікоАпплай + Профікс	57	55,8	97,9%
6	Вайбранс RFC + МікоАпплай + Профікс	57	52,3	91,8%

Польова схожість у межах від 87% до 97,9% в залежності від варіанту досліду, на 20-й день після сходів є нормальним показником, хоча варто відзначити різницю між варіантами. Так, варіанти Максим XL + МікоАпплай і Максим XL + МікоАпплай + Профікс показали найвищу польову схожість, понад 95%, тоді як варіанти, де було використано протруйник Вайбранс RFC показали схожість на рівні 91-92%. Контрольний варіант (без інокулянтів і без АМГ) мав польову схожість 88,8%. Також, варто зазначити, що норма висіву 570 тис. насінин на гектар не дає гарантії того, що на кожному м² буде саме 57 насінин. Із аналізу даних по польовій схожості напрашується висновок, що ані фунгіцидні протруйники, ані інокулянти, ані АМГ не мають вираженого негативного впливу на польову схожість насіння, хоча, ймовірно, можуть затримати сходи на декілька днів.



Рис. 8. Облік польової схожості, 02.06.2025

4.2. Лабораторна схожість насіння

Дослідження лабораторної схожості насіння сої було закладено 23.05.2025 в лабораторії кафедри рослинництва НУБіП, а обліки було проведено 02.06.2025. Лабораторна схожість насіння сої перевірялась шляхом поміщення 40 насінин у чашку Петрі у п'яти повторностях, потім чашки з насінням поміщались на 8-10 днів у камеру для проростання. Для кожного дослідного варіанту було використано 5 повторностей по 40 насінин, сумарно по 200 насінин на варіант. Варто відмітити, об'єктом аналізу на лабораторну схожість були варіанти з інокулянтom ХіСтік, і один з варіантів дослідження був абсолютний контроль – насіння сої без будь-якого протруєння, у т.ч. без базового Максим XL, яке було посіяне на самих краях поля. Чому саме так і для чого тут потрібен абсолютний контроль без будь-якого протруєння? Справа в тому, що насіння, оброблене протруйником, інокулянтom і АМГ в лабораторних умовах має дати більше 95% схожості, а абсолютний контроль міг би показати рівень реального ураження насіння грибковими хворобами, внаслідок чого таке уражене насіння на полі б не проросло.

Таблиця 4.3. Лабораторна схожість сої , другий трійчастий листок

№	Варіант	Кількість насінин	Пророслі	Непророслі	Лабораторна схожість, %
1	Абсолютний Контроль (без будь-якої обробки)	200	147	53,0	73,5%
2	Контроль (Максим XL)	200	194	6,0	97,0%
3	Максим XL + МікоАпплай + ХіСтік	200	192	8,0	96,0%
4	Вайбранс RFC + МікоАпплай + ХіСтік	200	196	4,0	98,0%

Результат лабораторної схожості підтвердив 96% - 98% лабораторну схожість протруєного насіння сої. Абсолютний контроль, без будь-якої обробки насіння, в тому числі без фунгіцидного протруйника, мав сильне ураження і низьку лабораторну схожість на рівні 73,5%, що сильно контрастує з протруєним насінням. Це одна із причин, чому на дослідженні контроль вже йде оброблений фунгіцидним протруйником. Різниця лабораторної схожості між варіантами, де був тільки фунгіцидний протруйник, або протруйник + інокулянт + АМГ є незначною, на рівні 1-2%. Лабораторна схожість – чи не єдине дослідження, де було задіяно абсолютний контроль, який в лабораторних умовах показав, що сіяти сою без будь-якої обробки насіння вкрай небажано і може призвести до втрати 20-30% схожості через незахищеність насіння.

Окрім обліку відсотку пророслого і непророслого насіння, було також проведено обліки різних форм ураження і аномалій насінин.

Таблиця 4.4. Лабораторна схожість, характер пошкодження насіння сої, другий трійчастий листок

№	Варіант	Показники ¹				
		ПЦК	ППК	ПА	ПУ	НП

1	Абсолютний Контроль (без будь-якої обробки)	54	47	46	0	53
2	Контроль (Максим XL)	163	18	7	6	6
3	Максим XL + МікоАпплей + ХіСтік	157	25	6	4	8
4	Вайбранс RFC + МікоАпплей + ХіСтік	164	12	18	2	4

Примітка¹

ПЦК	проросле насіння, цілий корінь
ППК	проросле насіння, пошкоджений корінь
ПА	проросле аномальне насіння (корінь деформований)
ПУ	проросле уражене насіння
НП	непроросле насіння (без кореню)

В цілому, під час обліків було помітно, що насіння сої, яке було протруєно Вайбранс RFC мало менше ураження порівняно з насінням, яке було протруєно Максим XL. Також було візуально помітно білі гіфи грибів на насінні варіанту досліду з МікоАпплей.

Аналіз протруєного насіння (фунгіцидний протруйник, окремо або разом із інокулянтом та АМГ) на лабораторну схожість виявив 96-98% схожість на протруєному насінні, із них близько 80% чисте насіння без аномалій, близько 10% пошкоджений корінь, близько 5% аномалії (короткий або кривий корінь), 2-3% уражена хворобою насінина і 2-3% непроросла насінина.

У випадку з абсолютним контролем без протруєння, близько 25% насінин проросли без ураження, близько 25% насінин не проросли взагалі, а решта 50% насінин або були уражені хворобами, або мали пошкоджений корінь чи інші аномалії. З точки зору захисту насіння, Вайбранс RFC проявив себе надійно. Інокулянти і АМГ власне і не мали себе тут проявити, окрім того, що візуально їх помітно на насінні, якщо придивитися.

Ніяких негативних наслідків від поєднання фунгіцидних протруйників, інокулянтів і АМГ не спостерігалось.



Рис. 9. Лабораторна схожість, Кобуко, абсолютний контроль, 02.06.2025



Рис. 10. Лабораторна схожість, Максим XL + МікоАпплай, 02.06.2025



Рис. 11. Лабораторна схожість, Вайбранс RFC + МікоАпплей, 02.06.2025

4.3. Формування бульбочкових бактерій та біометричних параметрів рослин у фазу R2 (цвітіння)

4.3.1. Біометричні показники рослин

Перший великий відбір зразків рослин на дослідних ділянках було проведено у середині липня, а саме 18.07.2025. На кожному із дослідних варіантів було відібрано по 8 рослин (з трьох повторностей). Рослини були викопані разом з кореневою системою з метою обліку бульбочок на коренях.

Мета відбору зразків для аналізу полягала в наступному:

- 1) аналіз біометричних показників – висота, кількість листків, сира біомаса, вага листків, вага стебла;
- 2) кількість бульбочок;
- 3) зразки для визначення сухої речовини;
- 4) Листки для висічок і подальшого визначення чистої продуктивності фотосинтезу (ЧПФ).

В таблиці 4.5. наведено основні біометричні показники рослин (кількість рослин = 8, середнє значення), а саме – висота рослин, кількість листків, сира біомаса, вага листків з однієї рослини і вага стебла з однієї рослини

Таблиця 4.5. Біометричні показники рослин, фаза цвітіння (R2)

№	Варіант	Висота рослин, см	К-сть листків, штук	Сира біомаса 1 рослини, г	Вага листків, грам/рослину	Вага стебла, грам/рослину
1	Контроль (Максим XL)	43,9	33,6	47,4	17,0	30,4
2	Максим XL + МікоАпплей	47,5	30,4	50,3	18,0	32,3
3	Максим XL + МікоАпплей + ХіСтік	41,8	32,4	55,6	19,0	36,6
4	Вайбранс RFC + МікоАпплей + ХіСтік	52,1	36,3	59,9	21,1	38,8
5	Максим XL + МікоАпплей + Профікс	49,9	34,8	54,6	21,8	32,8
6	Вайбранс RFC + МікоАпплей + Профікс	46,0	35,4	62,3	23,8	38,6

Аналіз біометричних показників рослин свідчить про те, що протруєння насіння сої поєднанням інокулянта і арбускулярно-мікоризного гриба (АМГ) сприяло збільшенню середньої кількості листків, сирої біомаси рослин, вазі листків та вазі стебел з однієї рослини. Так, найнижчі показники мав контрольний варіант, де насіння було протруєне тільки фунгіцидним протруйником Максим XL, при додаванні АМГ МікоАпплей біометричні показники зросли не суттєво, на 5-8%. Варіанти дослідів, які було протруєно фунгіцидним протруйником + АМГ + інокулянт показали найкращі результати, статистично відмінні як від контролю, так і від варіанту з АМГ і без інокулянта. Що цікаво, помітна різниця між варіантами дослідів, де протруйником був Максим XL і варіантами з протруйником Вайбранс RFC, на користь останнього фунгіцидного протруйника.

4.3.2. Облік кількості бульбочок

Облік кількості бульбочок на кореневій системі рослин показав важливість застосування інокулянта. Різниця в кількості сформованих бульбочок на контрольному варіанті (з фунгіцидним протруйником Максим XL), і на варіантах, де було використано інокулянти і АМГ була дуже суттєвою.

Таблиця 4.6. Середня кількість бульбочок, фаза цвітіння

№	Варіант	К-сть бульбочок од/рослину
1	Контроль (Максим XL)	2,75
2	Максим XL + МікоАпплай	8,25
3	Максим XL + МікоАпплай + ХіСтік	32,9
4	Вайбранс RFC + МікоАпплай + ХіСтік	28,3
5	Максим XL + МікоАпплай + Профікс	34,1
6	Вайбранс RFC + МікоАпплай + Профікс	46,8

Комбіноване протруєння з інокулянтами і АМГ підвищило кількість бульбочок у 12-15 разів у порівнянні з контролем. Застосування АМГ без інокулянта також покращило формування бульбочок у 3 рази порівняно з контролем, проте цей показник набагато менший, ніж на всіх варіантах з АМГ та інокулянтом. Цих даних не достатньо, щоб стверджувати про синергізм між інокулянтом і АМГ, проте достатньо, щоб стверджувати, що застосування АМГ сприяє збільшенню кількості бульбочок, а застосування комбінації інокулянт + АМГ суттєво збільшує кількість бульбочок.

4.3.3. Розрахунок площі листової поверхні (метод висічок)

Кінцевою метою застосування методу висічки було визначення площі листової поверхні (на одну рослину, на 1 м² і на 1 гектар), а також для подальшого визначення чистої продуктивності фотосинтезу (ЧПФ).

Як проводилось впровадження методу висічок?

- 1) Відбирали 30 листків з кожного варіанту досліду (з 8 рослин). Листки було відібрано з різних ярусів рослин.
- 2) Робили висічки з цих 30 листків. Висічки робились по м'якій тканині листка, щоб не потрапити на великі жилки, інакше вага висічки мала б суттєві похибки. Площа однієї висічки $1,13 \text{ см}^2$, відповідно площа 30 висічок $= 1,13 \text{ см}^2 \times 30 = 33,9 \text{ см}^2$. Ці дані однакові для всіх варіантів дослідження.
- 3) Кожен варіант із 30 висічок ($33,9 \text{ см}^2$) зважували на аналітичних вагах. Визначалась вага 1 см^2 листя шляхом ділення ваги висічки на площу ($33,9 \text{ см}^2$)
- 4) Визначали загальну вагу листя рослин із кожного варіанту досліду, та поділивши результат на кількість рослин (8) отримали середню вагу листя з однієї рослини
- 5) Площу листя з однієї рослини визначали як відношення середньої ваги листя з однієї рослини до ваги 1 см^2 листя (з висічок). Тобто середню вагу листя з однієї рослини (17,0-23,8 г. в залежності від варіанту досліду) було поділено на вагу 1 см^2 листя (0,018-0,021 г. в залежності від варіанту досліду)
- 6) Площа листя на гектар визначали по формулі: площа листя з однієї рослини \times польова схожість (кількість рослин на 1 м^2) /10000 (переводимо см^2 в м^2) \times 10000 (переводимо м^2 в га)

Таблиця 4.7. Висічки, вага листя, площа листової поверхні, фаза цвітіння

№	Варіант	Маса, г.				Площа листків	
		Висічки, 30 шт.	1 см^2 листя	листків зі зразку	листків з 1 рослини	$\text{см}^2/\text{рослину}$	$\text{м}^2 / 1 \text{ га}$
1	Контроль (Максим XL)	0,63	0,0186	136	17,0	915	46316
2	Максим XL + МікоАпсплай	0,61	0,0180	144	18,0	1000	56239
3	Максим XL + МікоАпсплай + ХіСтік	0,63	0,0186	152	19,0	1022	50680
4	Вайбранс RFC + МікоАпсплай + ХіСтік	0,62	0,0183	169	21,1	1155	60320
5	Максим XL + МікоАпсплай + Профікс	0,64	0,0189	174	21,8	1152	71219
6	Вайбранс RFC + МікоАпсплай + Профікс	0,71	0,0209	190	23,8	1134	59308

Таким чином, маємо наступні дані. Вага 30 висічок коливається між варіантами в межах 0,61 г – 0,64 г, тільки один варіант з вагою 0,71 г вирізняється. У вазі листя по висічках (а також при перерахунку на 1 см²), суттєвої різниці між контрольним варіантом і варіантами з АМГ та інокулянтами не спостерігається, тільки варіант 6 (Вайбранс RFC + МікоАпплай + Профікс) виділяється збільшеною масою листя.

Вага листків з відібраних зразків (по 8 рослин на кожен варіант досліду), так само як середня вага листків з однієї рослини, дещо відрізняється між собою і має тенденції до збільшення при протруєнні насіння АМГ + інокулянтом.

Площа листя на гектар на контрольному варіанті складає 46,3 тис м², на варіанті з протруйником і АМГ (без інокулянтів) складає 56,2 тис м², на варіанті 3 (Максим XL + МікоАпплай + ХіСтік) складає 50,7 тис кв.м., Найбільша площа листя була на варіанті 5 (Максим XL + МікоАпплай + Профікс) – 71,2 тис м². На варіантах, де було застосовано протруйник Вайбранс RFC, площа листя на гектар складає 59-60 тис м².



Рис. 12. Стан посівів 18.07.2025



Рис. 13. Зразки рослин для обліку



Рис. 14. Відокремлення листя 18.07.25



Рис. 15. Зразки стебел для визначення сухої речовини 18.07.25



Рис. 16. Облік бульбочкових бактерій на коренях рослин, 18.07.25

4.4. Формування бобів та біометричних параметрів рослин у фазу R4 (формування бобів)

4.4.1. Біометричні показники рослин

Другий великий відбір зразків рослин на дослідних ділянках було проведено у кінці липня, а саме 31.07.2025.

Таким чином, часовий інтервал між відбором зразків для аналізу 13 діб. Різниця у фазах розвитку рослин сої – перший відбір зразків у фазу цвітіння, другий відбір у фазу формування бобів. Так, маючи матеріали для аналізу, можемо порівняти динаміку змін показників рослин.

На кожному із дослідних варіантів було відібрано по 8 рослин (з трьох повторностей). Рослини були викопані разом з кореневою системою з метою обліку бульбочок на коренях.

Мета відбору зразків для аналізу полягала в наступному:

- 1) аналіз біометричних показників – висота, кількість листків, сира біомаса, вага листків, вага стебла;
- 2) кількість бульбочок;
- 3) зразки для визначення сухої речовини;
- 4) Листки для отримання висічок і подальшого визначення чистої продуктивності фотосинтезу (ЧПФ).

Таблиця 4.8. Біометричні показники рослин, повний розвиток бобів

№	Варіант	Висота рослин, см	К-сть листків	Сира біомаса 1 рослини, г	Вага листків 1 рослини, г	Вага стебла/бобів 1 рослини, г
1	Контроль (Максим XL)	71,5	39,8	40,4	13,8	26,6
2	Максим XL + МікоАпплей	73,1	38,8	47,8	17,0	30,8
3	Максим XL + МікоАпплей + ХіСтік	81,1	43,8	55,3	18,1	37,1
4	Вайбранс RFC + МікоАпплей + ХіСтік	82,6	39,3	61,9	20,4	41,5
5	Максим XL + МікоАпплей + Профікс	79,0	42,5	53,1	21,0	32,1
6	Вайбранс RFC + МікоАпплей + Профікс	85,9	42,0	60,0	20,3	39,8

Висота рослин збільшилась з 42-52 см під час першого обліку до 72-85 см під час другого обліку, в залежності від варіанту. Найнижчі рослини на контролі, найвищі – там, де насіння було оброблено інокулянт + АМГ.

Середня кількість листків на рослину збільшилась з 30-36 листків під час першого обліку до 39-44 листків під час другого обліку. Так само як і під час попереднього обліку, рослини, насіння яких було оброблено інокулянт + АМГ мають дещо більшу кількість листків у порівнянні з контролем.

Динаміка збільшення висоти рослин і кількості листків між варіантами корелює з попереднім відбором зразків.

Сира біомаса рослин зменшилась із середніх 55 г до 53 г. Це напевно пов'язано з тим, що під час першого відбору зразків рослини зважувались у полі (при високій вологості повітря), а під час другого відбору зразків, рослини зважувались після транспортування, через 4 години після відбору зразків, і за цей час рослини суттєво віддали вологу. Саме тому після обох відборів зразків було проведено аналіз на суху речовину.

Так, сира біомаса рослин 18.07.2025 коливалась від 47,5 г на контролі до 59-62 г на варіантах досліду, де насіння було оброблене АМГ + інокулянт.

Сира маса рослин 31.07.2025 коливалась від 40 г на контролі до 53-62 г на варіантах досліду, де насіння було оброблене АМГ + інокулянт. І під час першого обліку, і під час другого обліку маса рослин на контрольному варіанті була на 15-20% нижчою, ніж на варіантах з інокулянт та АМГ.

Вага листків з однієї рослини, так само як і вага стебла/бобів визначались від загальної сирої біомаси.

Під час першого обліку 18.07.2025, вага листків була від 17 г на контролі до 21-23 г на варіантах з інокулянт + АМГ, вага стебла (боби тоді ще не були сформовані) була від 30 г на контролі до 32-38 г варіантах з інокулянт + АМГ.

Під час другого обліку 31.07.2025, вага листків була від 13,8 г на контролі до 18-21 г на варіантах з інокулянт + АМГ, вага стебла та бобів була від 30 г на контролі до 32-38 г варіантах з інокулянт + АМГ.

Попри те, що сира біомаса рослин (а разом з нею і маса листків/стебла) була меншою під час другого обліку, є чітка тенденція яка стосується обох обліків. Використання АМГ при обробці насіння сприяло збільшенню біометричних показників рослин порівняно з контролем, а використання інокулянта + АМГ ще більш позитивно вплинуло на розвиток рослин, у тому числі на сиру біомасу.

4.4.2. Облік кількості бульбочок

Підрахунок кількості бульбочок під час другого обліку підтвердив, що при застосуванні інокулянту + АМГ, кількість бульбочок зростає багатократно порівняно з контролем, а використання АМГ без інокулянта збільшує кількість бульбочок у 3 рази (табл. 4.9.).

Таблиця 4.9. Середня кількість бульбочок, формування бобів

№	Варіант	К-сть бульбочок 1 рослина
1	Контроль (Максим XL)	3,11
2	Максим XL + МікоАпплай	9,07
3	Максим XL + МікоАпплай + ХіСтік	34,1
4	Вайбранс RFC + МікоАпплай + ХіСтік	35,3
5	Максим XL + МікоАпплай + Профікс	33,7
6	Вайбранс RFC + МікоАпплай + Профікс	46,8

Кількість бульбочок під час другого обліку мінімально зростає на кожному із варіантів, до 5%. Другий облік фактично підтвердив результати першого обліку. Очевидний висновок – для суттєвого збільшення кількості бульбочок на рослині та для підвищення рослиною фіксації азоту необхідно застосовувати інокулянт, а ще краще – інокулянт + АМГ.

4.4.3. Визначення площі листкової поверхні за використання методу висічок

Другий облік щодо стану росту і розвитку рослин сої проводили 31.07.2025 у фазі формування бобів. Визначення площі листкової поверхні проводили з використанням методу «висічок».

Таблиця 4.10. Висічки, вага листя, площа листової поверхні, фаза формування бобів

№	Варіант	Вага висічок, г. /30 шт.	Вага листя, г. /см ²	Вага листків 8 рослин, г	Вага листків г/рослину	Площа листя см ² /роsl.,	Площа листя м ² /га
1	Контроль (Максим XL)	0,50	0,0147	110	13,8	932	47202
2	Максим XL + МікоАпсплай	0,57	0,0168	136	17,0	1011	56842
3	Максим XL + МікоАпсплай + ХіСтік	0,59	0,0174	145	18,1	1041	51624
4	Вайбранс RFC + МікоАпсплай + ХіСтік	0,59	0,0174	163	20,4	1171	61136
5	Максим XL + МікоАпсплай + Профікс	0,60	0,0177	168	21,0	1187	73347
6	Вайбранс RFC + МікоАпсплай + Профікс	0,56	0,0165	162	20,3	1226	64113

Вага 30 висічок на контрольному варіанті складає 0,5 г; в інших варіантах коливається від 0,56 до 0,6 г. Відповідно, вага 1 см² листя на контролі становить 0,0147 г, на інших варіантах коливається у межах від 0,0165 г до 0,0177 г. Середня вага листків з однієї рослини на контролі становить 13,75 г, на варіантах від 17,0 г до 21,0 г

Рослини сої були досить розвиненими з добре сформованою вегетативною масою та площею листкової поверхні. Площа листкової поверхні сої на контрольному варіанті складала 47 тис м²/га. Найбільшою площею листкової поверхні була в варіанті з застосуванням Максим XL + МікоАпсплай + Профікс – 73,4 тис м². В інших варіантах площа листкової поверхні коливалася від 51 тис м² до 64 тис м².

4.5. Розрахунок сухої речовини

Визначення сухої речовини було проведено після першого і другого відборів зразків в лабораторії НУБІП у 4 корпусі за наступним алгоритмом:

- 1) Відбирались зразки з кожного варіанту (з усіх 8 рослин) у кількості 10 г. листя і 10 г. стебел/бобів;
- 2) В лабораторії зразки поміщались в металеві тигелі (один тигель – один варіант досліду, листки або стебла) Вага тигеля 20-23 г., вага сирої речовини 10 г.;
- 3) Тигелі зі зразками поміщались в сушильну шафу, де відбувалось їх сушіння;
- 4) Після просушення зразки зважувались і потім повторно поміщались в сушильну шафу, після чого повторно зважувались. На головному етапі температура сушіння була 105°C протягом однієї години.

Після сушки першого відбору зразків було отримано наступні результати:

Таблиця 4.11. Вміст сухої речовини, фаза цвітіння

№	Варіант	Суша речовина, листя, 10 г.	Суша речовина, стебла, 10 г.	Суша речовина з 1 росл., листя, г.	Суша речовина з 1 росл., стебла, г.	Суша речовина з листя, %	Суша речовина зі стебла, %
1	Контроль (Максим XL)	1,80	1,41	3,06	4,29	18,0%	14,1%
2	Максим XL + МікоАпплей	1,89	1,42	3,40	4,59	18,9%	14,2%
3	Максим XL + МікоАпплей + ХіСтік	1,92	1,51	3,65	5,53	19,2%	15,1%
4	Вайбранс RFC + МікоАпплей + ХіСтік	1,97	1,41	4,16	5,47	19,7%	14,1%
5	Максим XL + МікоАпплей + Профікс	1,93	1,45	4,20	4,76	19,3%	14,5%
6	Вайбранс RFC + МікоАппл. + Профікс	1,85	1,38	4,39	5,33	18,5%	13,8%

Різниця між варіантами не суттєва, різниця між контролем і варіантами з АМГ чи інокулянтами мінімальна. Після першого обліку, маємо суху речовину з листя від 18,0% до 19,7%. Суша речовина зі стебел складала від 13,8% до 15,1%. Тобто, з 10 г. вологого листя було отримано 1,8 - 1,97 г. сухого листя. З 10 г. вологих стебел було отримано 1,38 - 1,51 г. сухих стебел.

Після другого відбору зразків було проведено аналіз на суху речовину за аналогічною процедурою, результати зображено нижче у таблиці.

Таблиця 4.12. Вміст сухої речовини, фаза формування бобів

№	Варіант	Суша речовина, листя, 10 г.	Суша речовина, стебла, 10 г.	Суша речовина з 1 росл., листя, г.	Суша речовина з 1 росл., стебла, г.	Суша речовина з листя, %	Суша речовина зі стебла, %
1	Контроль (Максим XL)	2,89	2,09	3,97	5,56	28,9%	20,9%
2	Максим XL + МікоАпплей	2,78	1,89	4,73	5,81	27,8%	18,9%
3	Максим XL + МікоАпплей + ХіСтік	2,77	1,92	5,02	7,13	27,7%	19,2%
4	Вайбранс RFC + МікоАпплей + ХіСтік	2,67	1,96	5,44	8,13	26,7%	19,6%
5	Максим XL + МікоАпплей + Профікс	2,62	2,05	5,50	6,59	26,2%	20,5%
6	Вайбранс RFC + МікоАпл. + Профікс	2,84	1,91	5,75	7,59	28,4%	19,1%

Так само, як і після першого відбору зразків, різниця між варіантами не є статистично значимою. І немає різниці між контролем і варіантами з АМГ та інокулянтами. Так, відсоток сухої речовини з листків складав від 26,2% до 28,9%, а відсоток сухої речовини зі стебел складав від 18,9% до 20,9%. Відповідно, з 10 г. вологих листків було отримано 2,6-2,9 г. сухого листя. З 10 г. вологих стебел/бобів було отримано 1,9-2,1 г. сухої речовини.

А тепер порівняємо ці показники після першого та другого обліків:

Таблиця 4.13. Вміст сухої речовини, цвітіння та формування бобів, %

№	Варіант	Фаза			
		Цвітіння		Формування бобів	
		Листя	Стебла	Листя	Стебла
1	Контроль (Максим XL)	18,0	14,1	28,9	20,9
2	Максим XL + МікоАпплей	18,9	14,2	27,8	18,9
3	Максим XL + МікоАпплей + ХіСтік	19,2	15,1	27,7	19,2
4	Вайбранс RFC + МікоАпплей + ХіСтік	19,7	14,1	26,7	19,6
5	Максим XL + МікоАпплей + Профікс	19,3	14,5	26,2	20,5
6	Вайбранс RFC + МікоАпл. + Профікс	18,5	13,8	28,4	19,1

Вміст сухої речовини, на відміну від вологості, чим вище тим краще, це означає, що з 10 г. сирової маси отримано більше сухої маси.

Саме тому при відборі зразків 18.07 і 31.07 зразки вегетуючих рослин, відібрані на 2 тижні пізніше мали меншу сирину біомасу і відповідно меншу сирину масу листя. Зразки рослин, відібрані 18.07 зважувались у полі одразу після відбору, рослини містили значно більше вологи, і коли вони були підсушені, з них було отримано значно менше сухої речовини, ніж зі зразків 31.07. Що стосується зразків рослин, які були відібрані 31.07., вони під час транспортування підсохли, віддали вологу, і тому містять значно більше сухої речовини як у листках, так і у стеблах.



Рис. 17. Лабораторний аналіз - визначення сухої речовини

4.6. Визначення чистої продуктивності фотосинтезу

Чиста продуктивність фотосинтезу (ЧПФ) показує, з якою швидкістю рослина нарощує суху речовину (біомасу) за рахунок фотосинтезу за певний період часу.

Для визначення ЧПФ використовується наступна формула:

$$\text{ЧПФ} = \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1} \times \frac{1}{\bar{L}}$$

де:

W_1 — суха маса надземної частини рослин на початку періоду, г/м²

W_2 — суха маса надземної частини на кінці періоду, г/м²

$t_2 - t_1$ — тривалість облікового періоду, днів

\bar{L} — середня площа листової поверхні за цей період, м²/м²

Таблиця 4.14. Чиста продуктивність фотосинтезу, фази цвітіння та формування бобів

№	W2 г/м2	W1 г/м2	L1 м2 лист/ м2 грунт	L2 м2 лист/ м2 грунт	t (днів)	ЧПФ г/м2/доба
1	483	372	4,63	4,72	13	1,82
2	592	449	5,62	5,68	13	1,95
3	602	455	5,07	5,16	13	2,21
4	709	503	6,03	6,11	13	2,61
5	747	554	7,12	7,34	13	2,06
6	698	508	5,93	6,41	13	2,36

Варіанти дослідів наступні:

- 1 Контроль (Максим XL)
- 2 Максим XL + МікоАпплей
- 3 Максим XL + МікоАпплей + ХіСтік
- 4 Вайбранс RFC + МікоАпплей + ХіСтік
- 5 Максим XL + МікоАпплей + Профікс
- 6 Вайбранс RFC + МікоАпплей + Профікс

Таким чином, чиста продуктивність фотосинтезу на контролі складала 1,82 г. сухої речовини /м²/добу, на варіанті 2 (Максим XL + МікоАпплей) 1,95 г. сухої

речовини /м² /добу, на варіантах 3,5,6 (протруйник + АМГ + інокулянт) чиста продуктивність фотосинтезу визначена в діапазоні від 2,06 до 2,36 г. сухої речовини /м² /добу. Найвища ЧПФ на варіанті 4 (Вайбранс RFC + МікоАпплай + ХіСтік) із показником 2,36 г. сухої речовини /м² /добу, що на понад 20% перевершує контроль і на 10-15% перевершує інші варіанти дослідження.

Розділ 5. СТРУКТУРА, УРОЖАЙНІСТЬ ТА ЯКІСТЬ ЗЕРНА

22 вересня 2025 року був найбільший забір зразків рослин з метою обліку урожайності, якісних показників насіння та інших параметрів рослин.

Для цього, з кожної ділянки досліду відбирались усі рослини з площі 5м². Саморобна лінійка агронома 1м * 1м була поміщена на облікову ділянку і всі рослини, які знаходились на ділянці забору зразків, зрізалися серпом. На кожному з шести варіантів досліду було відібрано 5 зразків 1м * 1м, по 1-2 зразки з кожної повторності. На момент збирання соя була повністю сухою і рослини добре піддавались зрізанню. Після цього, всі рослини, зібрані з площі 5м² зв'язувались у сніп і переміщувались на місце з твердим покриттям для подальшого обліку і обмолоту.

Після жнив і транспортування, зразки аналізувались наступним чином:

- 1) З кожного варіанту (з різних повторностей) було відібрано по 30 рослин, саме їх вимірювали для визначення біометричних показників (висота, кількість бобів, кількість насінин у бобі).
- 2) Після визначення біометричних показників, ці 30 рослин обмолочувались, все насіння було зібране і зважувалась маса 50 насінин, а також маса насіння з 30 рослин.
- 3) На декількох варіантах було проведено облік загальної кількості рослин, показники 270-290 рослин відповідали плановій кількості (50-55 рослин/м² * 5)
- 4) Решта рослин з кожного варіанту (220-250 шт. що залишились) обмолочувались, насіння очищувалось, зважувалась загальна вага, додавалось насіння з 30 облікових рослин і таким чином визначалась врожайність (з площі 5м²)
- 5) Обмолот зайняв доволі багато часу (майже тиждень), проте відбір зразків з такої площі забезпечив максимально достовірні результати.

- б) Все очищене насіння зважувалось, фасувалось по мішках, з кожного варіанту було відібрано по ± 600 грам насіння для лабораторного дослідження, а саме визначення вологості, вмісту протеїну та олійності.



Рис. 18. Ділянка перед фінальним відбором зразків, 22.09.2025

5.1. Висота рослин, кількість бобів, кількість насіння

Отже, маємо наступні біометричні показники досліджуваних рослин:

Таблиця 5.1. Структура врожаю сої Кобуко, N=30, фаза повної стиглості

№	Варіант	К-сть бобів	К-сть насінин на 1 рослину	К-сть насінин у бобі	Маса 50 насінин, гр
1	Контроль (Максим XL)	14,5	32,7	2,26	7,90
2	Максим XL + МікоАпплай	15,9	36,2	2,28	7,10
3	Максим XL + МікоАпплай + ХіСтік	17,6	40,0	2,28	7,96
4	Вайбранс RFC + МікоАпплай + ХіСтік	21,2	44,3	2,09	8,13
5	Максим XL + МікоАпплай + Профікс	14,2	33,1	2,34	8,30
6	Вайбранс RFC + МікоАпплай + Профікс	20,8	46,5	2,23	8,10

Середня кількість бобів на рослину на контрольному варіанті і варіанті 5 (Кобуко + Максим XL + МікоАпплай + Профікс) складає 14,0-14,5 бобів, тоді як на варіанті з АМГ без інокулянта 15,87 бобів. Найбільш потужні рослини на варіантах 4 і 6 (АМГ + Вайбранс RFC + інокулянт Хістік і Профікс відповідно) 20,8-21,2 бобів на рослину

Кількість насінин у бобі на всіх варіантах дослідів, окрім варіанту 4 була в межах 2,23-2,34 насінини на біб, що на контролі, що із використанням АМГ та інокулянтів. Варіант 4 (Вайбранс RFC + МікоАпплай + ХіСтік) відрізнявся зменшеною кількістю бобів на рослину, 2,09.

Маса 50 насінин на контролі та з застосуванням інокулянт + АМГ не відрізнялась суттєво між собою, від 7,9 г до 8,3 г. Єдиний варіант дослідів, де маса 50 насінин була значно нижчою, це варіант 2 (Максим XL + МікоАпплай), тобто з АМГ і без інокулянта. Тут маса 50 насінин була 7,1 г, що суттєво нижче інших варіантів дослідів.

Таким чином, по кількості насінин у бобі тільки варіант Вайбранс RFC + МікоАпплай + ХіСтік виділявся із загальної тенденції у нижчий бік, по масі 50 насінин тільки варіант Максим XL + МікоАпплай виділявся із загальної тенденції у нижчий бік, в цілому ці дані не показують різницю між контролем, застосуванням АМГ і застосуванням АМГ + інокулянт.

А от кількість бобів на рослину показує різницю. Попри те, що варіант 5 (Максим XL + МікоАпплай + Профікс) мав меншу середню кількість бобів на рослині, ніж контроль, інші варіанти, де було використано АМГ + інокулянт, забезпечив значно більшу кількість бобів, ніж на контролі. І відповідно більшу кількість насінин у рослині. Тут видно тенденцію, за якої використання АМГ і особливо використання АМГ + інокулянт збільшують кількість бобів та кількість насінин на одну рослину.

Таблиця 5.2. Кількість бобів, кількість насінин, маса насінин з 30 рослин, фаза повної стиглості

№	Варіант	Кількість бобів з 30 рослин	Загальна кількість насінин з 30 рослин	Маса всіх насінин з 30 рослин, г
1	Контроль (Максим XL)	435	981	155
2	Максим XL + МікоАпплай	476	1085	154
3	Максим XL + МікоАпплай + ХіСтік	527	1200	191
4	Вайбранс RFC + МікоАпплай + ХіСтік	636	1328	216

5	Максим XL + МікоАпплай + Профікс	425	994	165
6	Вайбранс RFC + МікоАпплай + Профікс	625	1395	226

Якщо аналізувати облік кількості бобів, насінин і масу насінин з 30 рослин, то тенденція наступна – по мірі вдосконалення обробки насіння (протруйник > протруйник + АМГ > протруйник + АМГ + інокулянт), бачимо зростання кількісних показників, збільшення кількості бобів, насінин та збільшення маси насіння. Єдине виключення тут, варіант 5 (Максим XL + МікоАпплай + Профікс), ймовірно це може бути пов'язано з тим, що для обліку були відібрані нетипові рослини для аналізу (суб'єктивний фактор). По решті варіантів видно чітку тенденцію, яка свідчить про те, що додавання АМГ та інокулянта при обробці посівного матеріалу сої стимулює до збільшення усіх кількісних показників, які було досліджено.



Рис. 19. Відібрані з поля зразки, зв'язані у снопи, 22.09.2025



Рис. 20. Снопи, готові до обмолоту, 23.09.2025



Рис. 21. Обмолот досліджуваних зразків сої, 23.09.2025



Рис. 22. 30 рослин, які обмолочені окремо, 23.09.2025

5.2. Облік та аналіз урожайності сої

Обмолот рослин виявився доволі складним і трудомістким процесом. Адже рослини обмолочувались вручну, і площа 5м² це доволі крупний сніп. Рослини молотились як шляхом загортання 50-70 рослин у велику поліетиленову плівку, так і безпосередньо у мішках. Ці дані є максимально достовірні, бо процес обмолоту був ретельно організований. Нижче наведені результати урожайності варіантів.

Таблиця 5.3. Урожайність сої, Кобуко, фаза повної стиглості

№	Варіант	Загальна маса всього насіння, г (з 5 м ² .)	Врожайність, т/га	+% до контролю
1	Контроль (Максим XL)	1308	2,62	0%
2	Максим XL + МікоАпплай	1443	2,89	+10,0%
3	Максим XL + МікоАпплай + ХіСтік	1578	3,16	+21,0%
4	Вайбранс RFC + МікоАпплай + ХіСтік	1880	3,76	+43,7%
5	Максим XL + МікоАпплай + Профікс	1700	3,40	+30,0%
6	Вайбранс RFC + МікоАпплай + Профікс	1970	3,94	+50,7%

Отже, за результатами дослідження, застосування АМГ (МікоАпплай) без інокулянта сприяло збільшенню урожайності на +10%. Урожайність на контролі 2,61 т/га, на варіанті з АМГ 2,89 т/га.

Варіант 3 із використанням АМГ, протруйника Максим XL та інокулянта ХіСтік показав урожайність 3,16 т/га, що на 21% перевищує контрольний варіант. Варіант 5 із використанням АМГ, протруйника Максим XL та інокулянта Профікс забезпечив 3,4 т/га урожайності, що на 30% вище за контроль.

Лідерами з урожайності були варіанти із застосуванням фунгіцидного протруйника Вайбранс RFC, АМГ МікоАпплай та інокулянтів ХіСтік (варіант 4) та Профікс (варіант 6). Ці варіанти досліду забезпечили прибавку урожаю на 43,7% та 50,7% відповідно, в абсолютних цифрах це 3,76 т/га та 3,94 т/га відповідно.

Вплив фунгіцидного протруйника виявився більш вагомим на результат урожайності, ніж вплив інокулянта.

Основна різниця між Максим XL та Вайбранс RFC у наявності діючої речовини Седаксан у перпараті Вайбранс. Основна різниця між інокулянтами

ХіСтік та Профікс у наявності бактерій штаму SEIMA 5079 та SEIMA 5080 у інокулянта Профікс.

Можемо припустити, що саме ці діючі речовини (Седаксан для фунгіцидного протруйника, бактерії штаму SEIMA 5079 та SEIMA 5080 для інокулянта) забезпечили різницю в урожайності між варіантами.

В будь-якому випадку, застосування АМГ та інокулянтів на насінні сої, яке було оброблено фунгіцидним протруйником, забезпечило суттєве збільшення урожайності (на 21-51%), в залежності від того який саме протруйник і який саме інокулянт було застосовано.

Результат урожайності є закономірним, враховуючи різницю між рослинами без АМГ та без інокулянту та рослинами з АМГ та з інокулянтом, протягом усього періоду вегетації рослини. Рослини, насіння яких було оброблено комбінацією протруйник + АМГ + інокулянт виділялись в кращу сторону, порівняно з рослинами, насіння яких було оброблене тільки фунгіцидним протруйником.

Різниця урожайності підтверджує доцільність і дуже високу окупність спільного застосування АМГ та інокулянтів при передпосівній підготовці насіння сої.

5.3. Якість насіння сої

Аналіз зразків на вологість, вміст протеїну і вміст олії проводився 06.10.2025 в лабораторії кафедри рослинництва НУБП.

Зразки з кожного варіанту, масою ± 600 г. використовувались для визначення якісних показників сої. Було отримано наступні результати:

Таблиця 5.4. Якість зерна сої, Кобуко, фаза повної стиглості

№	Варіант	Вологість, %	Вміст протеїну, %	Вміст олії, %
1	Контроль (Максим XL)	10,8	42,9	20,7
2	Максим XL + МікоАпплай	9,70	42,6	20,6
3	Максим XL + МікоАпплай + ХіСтік	9,50	43,2	20,5
4	Вайбранс RFC + МікоАпплай + ХіСтік	9,70	43,6	20,2
5	Максим XL + МікоАпплай + Профікс	9,90	43,9	20,5
6	Вайбранс RFC + МікоАпплай + Профікс	9,40	43,1	20,3

Вологість насіння сої на всіх варіантах окрім контролю була від 9,4% до 9,9%, тоді як на контрольному варіанті (без АМГ і без інокулянтів) вологість насіння була 10,8%. Такі показники можуть свідчити про те, що насіння сої, оброблене АМГ + інокулянт або чистим АМГ без інокулянта, можуть сприяти трохи швидшій вологовіддачі насіння сої. Якщо це так, з практичної точки зору, соя перед збиранням буде трохи краще «самопідсушуватись». Проте це лише припущення, а не підтверджений факт, бо по-перше було зроблено тільки один аналіз, а по-друге різниця у вологості в 1% не є значною, хоча похибка не більше 0,5%

За результатами лабораторного аналізу, вміст протеїну у насінні сої знаходився у діапазоні від 42,6% до 43,9%. Різниця між варіантами настільки незначна, що можемо стверджувати – лабораторний аналіз показав, що використання арбускулярно-мікоризних грибів та інокулянтів ніяк не впливає на вміст протеїну в насінні сої.

Вміст олії в насінні сої, за результатами лабораторного аналізу, між шістьма варіантами знаходився в діапазоні від 20,2% до 20,7%. Так само, як і по протеїну – ніякого ефекту (ані позитивного, ані негативного) від застосування АМГ та інокулянтів не виявлено.

Таким чином, згідно результатів лабораторного аналізу урожаю, застосування поєднання АМГ та інокулянтів на сої, або ж застосування АМГ без інокулянтів ніяк не впливає на якісні показники насіння сої, а саме на вміст протеїну та вміст олії. Можливий вплив АМГ та інокулянтів на вологовіддачу сої, проте один дослід і різниця у вологості 1% не дають підстав однозначно стверджувати, що це дійсно так.

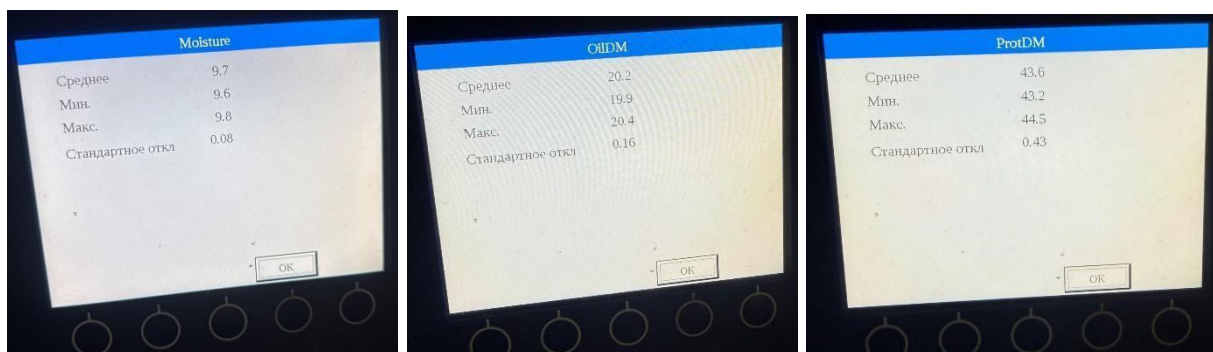


Рис. 23. Лабораторне дослідження показників якості насіння, Кубуко

ВИСНОВКИ

Дослідження щодо застосування на насінні сої АМГ (арбускулярно-мікоризних грибів) та інокулянтів разом з фунгіцидним протруйником показали цікаві результати.

Так, протягом усього періоду вегетації, рослини, на яких було застосовано поєднання протруйник + АМГ + інокулянт виділялись на фоні рослин, що були протруєні тільки протруйником, і на фоні рослин з протруйником і АМГ, але без інокулянта.

Із шести досліджуваних варіантів, особливу увагу заслуговують варіант 4 (МікоАпплей 4,0 г/га +ХіСтік 400 г/га + Вайбранс RFC 1,0 л/т насіння) та варіант 6 (МікоАпплей 4,0 г/га + Профікс 250 г/га + Вайбранс RFC 1,0 л/т насіння)

Ці варіанти по більшості параметрів переважали контроль (Максим XL 1,0 л/т насіння) і варіант з АМГ без інокулянта (МікоАпплей 4,0 г/га + Максим XL 1,0 л/т насіння), починаючи від біометричних показників як-то висота рослин, кількість бульбочок на коренях, кількість бобів, площа листя, чиста продуктивність фотосинтезу тощо., і матеріалізуючись у суттєву прибавку врожаю 3,75-3,95 т/га проти 2,6 т/га на контролі і 2,9 т/га на варіанті з АМГ але без інокулянта.

Протягом усього періоду вегетації, рослини, які були оброблені поєднанням фунгіцидний протруйник + АМГ + інокулянт виглядали потужнішими, мали кращі проміжні дані під час аналізу зразків, що доводить доцільність застосування АМГ + інокулянт + фунгіцидний протруйник.

Найкращі результати у дослідженні показали варіанти дослідів з протруйником Вайбранс RFC. Поєднання АМГ + інокулянт + Максим XL теж показали пристойні результати, особливо порівняно з контролем.

Можемо припустити, що діюча речовина Седаксан виявляє кращі властивості у захисті рослин сої при сумісному використанні з АМГ та інокулянтами

ХіСтік та Профікс в умовах дослідів, що приводить до збільшення продуктивності сої. Синергетична дія це лише припущення яке вимагає кількарічних досліджень.

Деяка інформація, як-то застосування інокулянтів сприяє формуванню бульбочкових бактерій (а отже кращій фіксації азоту) вже доведена дослідженнями багатьох вчених, проте наше дослідження показало, що і АМГ сприяє кращому формуванню бульбочок, і особливо поєднання АМГ та інокулянта.

При цьому, аналіз якісних показників насіння сої, практично не показав ніякої різниці щодо вмісту протеїну та олії в насінні сої.

Щодо синергізму між АМГ та інокулянтами, тут доволі важко дати однозначну оцінку, можна обережно припустити, що певний синергізм між ними є. І можна точно стверджувати, що між конкретним АМГ (МікоАпплей), конкретними протруйниками Вайбранс RFC та Максим XL та інокулянтами ХіСтік та Профікс немає антагонізму, і такі поєднання не мають ніякого негативного впливу на рослину.

Рекомендації виробнику

Таким чином, можемо рекомендувати застосовувати поєднання фунгіцидних протруйників Вайбранс RFC або Максим XL з арбускулярно-мікоризним грибом МікоАпплей та інокулянтами ХіСтік або Профікс для отримання сильних рослин протягом вегетації та для досягнення максимальної врожайності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Адаптивна технологія вирощування сої у Східному Лісостепу України: монографія (за ред. д-ра с.-г. наук, професора, чл.-кор. НААН України Бобро М.А.) Х.: ХНАУ, 2016. 268 с.
2. Адамень Ф.Ф. Агробиологические особенности возделывания сои в Украине / Ф.Ф. Адамень и др. – К.: Аграр. наука, 2006. – 456 с.
3. Андрієць Д. В. Управління продуктивністю сої за інтенсифікації технології вирощування у Правобережному Лісостепу України: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук: 06.01.09. К., 2013. 20 с.
4. Бабич А.О. Сучасне виробництво і використання сої . К.: Урожай, 1993. 430 с.
5. Бахмат О. М. Соя – культура майбутнього, особливості формування високого врожаю: монографія. Кам'янець-Подільський: ПП Мошак М. І., 2009. 208 с.
6. Вишнівський П. С., Фурман О.В. Продуктивність сої залежно від елементів технології вирощування в умовах правобережного лісостепу України. Рослинництво та ґрунтознавство, Випуск 11, №1, 2020, С. 13–22.
7. Волкогон В.В., Потапенко Л.В., Дімова С.Б., Волкогон К.І., Халеп Ю.М. Біологічні чинники оптимізації систем удобрення сільськогосподарських культур у сівозміні. Вісник аграрної науки. 2021, №11 (824) С. 33–41.
8. Воробей Н.А., Кукол К.П., Пухтаєвич П.П., Коць С.Я. Комплексна інокуляція сої бульбочковими бактеріями *Bradyrhizobium japonicum* як засіб оптимізації симбіотичної азотфіксації. Сільськогосподарська мікробіологія. 2023. Вип. 38. С. 29–39.
9. Джура Ю. М. Продуктивність сої залежно від моделей технологій її

вирощування в умовах правобережного лісостепу України: автореф.
дис. ... к-та с.-г. наук: 06.01.09. Вінниця, 2003. 24 с.

10. Дідур І.М. Вплив обробки насіння та позакореневих підживлень на формування продуктивності рослин сої в умовах Правобережного Лісостепу України. Вісник Сумського національного аграрного університету. 2023. № 1. С. 37–43. УДК: 631.461.52:631.847:631.811.98.

11. Каленська С. М. Агроекологічні та біологічні основи інтенсифікації виробництва озимого жита і тритікале в Лісостепу України: автореф. дис. д-ра с.-г. наук: 06.01.09. Київ, 2001. 49 с.

12. Каленська С.М., Новицька Н.В., Гарбар Л.А, Андрієць Д.В. Урожайність як інтегральний показник реакції рослин сої на елементи технології вирощування Науковий вісник НУБіП України. 2010. № 143. С.292-301

13. Каленська С.М., Новицька Н.В., Джемесюк О.В. Формування площі листової поверхні сої під впливом інокуляції та підживлення. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2016. №3. С. 6–11.

14. Колісник С. І., Кобак С. Я., Сереветник О. В. Вплив прийомів сортової технології на формування симбіотичної та насінневої продуктивності сої в умовах Лісостепу України. Корми і кормовиробництво. 2013. Вип. 76. С. 139–145.

15. Кравченко В.С., Кононенко Л.М., Вишневська Л.В. Чинчик О.С., Оліфорович В.О. Біологізація вирощування зернобобових культур в Україні, аналіз та перспектива. Аграрний вісник Причорномор'я. Випуск 92, 2019, С. 83–91.

16. Крутило Д.В. Ефективність штамів *Bradyrhizobium japonicum* на фоні місцевих популяцій ризобій сої. Вісник Алтайського державного аграрного університету. 2014. №4. С. 42–47.

17. Лихочвор В.В., Петриченко В.Ф. Сучасні інтенсивні технології

вирощування основних польових культур: навч. посібник. Львів: НВФ Українські технології, 2006. 730 с.

18. Новицька Н.В., Джемесюк О.В. Формування урожайності сої під впливом інокуляції та підживлення. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2017. Вип. 1-2, С. 43–47.

19. Потапов А. В., Грабовський М. Б. Формування площі листкової поверхні та фотосинтетичних показників посівів буряків цукрових залежно від мікродобрив і систем фунгіцидного захисту. Передгірне та гірське землеробство і тваринництво. 2023. Вип. 74 (1) С. 110–128.

20. Романько А. Ю. Формування продуктивності сої залежно від елементів технології вирощування в умовах північно-східного Лісостепу України: автореф. дис. ... к-та с.-г. наук: 06.01.09. Суми, 2021. 23 с.

21. Фурман О.В. Оптимізація елементів технології вирощування сої в умовах Лісостепу Правобережного: автореф. дис. ... к-та с.-г. наук: 06.01.09. Чабани, 2021. 26 с.

22. Холодченко Р.М. Фотосинтетична діяльність посівів вівса голозерного залежно від умов мінерального живлення та норм висіву. Корми і кормовиробництво. 2013. Вип. 77, С. 280–285

23. Шевніков М. Я. Агроєкологічні основи застосування біологічних, фізичних та хімічних засобів у технологіях вирощування сої в Лісостепу України: автореф. дис. д-ра с.-г. наук: 06.01.09. Х., 2010. 36 с.

24. Шевніков М. Я. Наукові основи вирощування сої в умовах лівобережного Лісостепу України / Шевніков М.Я. – Полтава: Видавництво „ПП Крюков”, 2007. – 208 с. (Монографія).

25. Шовкова О.В. Формування продуктивності сої залежно від строків сівби та мінерального живлення в умовах лівобережної частини лісостепу України: автореф. дис. ... к-та с.-г. наук: 06.01.09. Харків, 2021. 22 с.

30. Abatemarco de Moura M.L., Oki Y., Arantes-Garcia L., Cornelissen T.,

- Yule R.F.N., Wilson F.G. Mycorrhiza fungi application as a successful tool for worldwide mine land restoration: Current state of knowledge and the way forward. *Ecological Engineering*. Volume 178, May 2022, 106580.
31. Alori E.T., Babalola O.O. Microbial inoculants for improving crop quality and human health in Africa. *Front Microbiol*. 2018, 9:2213.
32. Buysens, C.; Dupré de Boulois, H.; Declerck, S. Do fungicides used to control *Rhizoctonia solani* impact the non-target arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus irregularis*? *Mycorrhiza* 2015, 25, 277–288.
33. Cabral L., Soares C., Giachini A.J, Siqueira J.O. Arbuscular mycorrhizal fungi in phytoremediation of contaminated areas by trace elements: mechanisms and major benefits of their applications. *W J Microbiol Biotechnol*. 2015;31:1655–64.
34. Canton G.C, Bertolazi A.A, Cogo A.J, Eutrópico F.J, Melo J, de Souza S.B, Krohling C.A, Campostrini E, da Silva A.G, Façanha A.R. Biochemical and ecophysiological responses to manganese stress by ectomycorrhizal fungus *Pisolithus tinctorius* and in association with *Eucalyptus grandis*. *Mycorrhiza*. 2016;26:475–87.
35. Cardoso E.J., Nogueira M.A., Zangaro W. Importance of mycorrhizae in tropical soils. In: de Azevedo J, Quecine M, editors. *Diversity and benefits of microorganisms from the tropics*. Cham: Springer; 2017. p. 245–67.
36. Choudhary D.K, Varma A. Nitrogenase (a key enzyme): structure and function. In: Hansen A, Choudhary D, Agrawal P, Varma A, editors. *Rhizobium biology and biotechnology*, vol. 50. Cham: Springer; 2017. p. 293–307.
37. Costa, O.Y.A.; Raaijmakers, J.M.; Kuramae, E.E. Microbial extracellular polymeric substances: Ecological function and impact on soil aggregation. *Front. Microbiol*. 2018, 9, 1636.
38. Desai S, Kumar G.P., Amalraj L.D., Bagyaraj D, Ashwin R. Exploiting PGPR and AMF biodiversity for plant health management. In: Singh DP,

- Singh HB, Prabha R, editors. Microbial inoculants in sustainable agricultural productivity. New Delhi: Springer; 2016. p. 145–60.
39. Entry J.A. et al. Influence of adverse soil conditions on the formation and function of arbuscular mycorrhizas. *Adv. Environ. Res.* (2002)
40. Etesami H., Emami S., Alikhani H. Potassium solubilizing bacteria (KSB): Mechanisms, promotion of plant growth, and future prospects-A review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition.* 2017, 17. 10.4067/S0718-95162017000400005.
41. Fasusi O.A.; Cruz C.; Babalola O.O. Agricultural Sustainability: Microbial Biofertilizers in Rhizosphere Management. *Agriculture* 2021, 11, 163.
42. Francioli D., Schulz E., Buscot F. et al. Dynamics of Soil Bacterial Communities Over a Vegetation Season Relate to Both Soil Nutrient Status and Plant Growth Phenology. *Microb Ecol* 75, 216–227 (2018).
43. Jacoby R., Peukert M., Succurro A., Koprivova A., Kopriva S. The Role of Soil Microorganisms in Plant Mineral Nutrition Current Knowledge and Future Directions. *Plant Physiology*, 2017, Volume 8
44. Jones J.W., Antle J.M., Basso B., Boote K.J., Conant R.T., Foster I., Godfray H.C.J., Herrero M., Howitt R.E., Janssen S., Keating B.A., Munoz-Carpena R., Porter C.H., Rosenzweig C., and Wheeler T.R.: Toward a new generation of agricultural system data, models, and knowledge products: State of agricultural systems science. *Agric. Syst.*, 2017, 155, 269-288
45. Johnston, A.E., Poulton, P.R., Fixen, P.E., Curtin, D. Phosphorus. Its Efficient Use in Agriculture. *Adv. Agron.* 2014, 123:177–228.
46. Glick B.R., Gamalero. E. Recent developments in the study of plant microbiomes. *Microorganisms*, 2021, 9:1533
47. Gontia-Mishra, I., Sapre, S., Sikdar, S., Tiwari, S. (2021). Application of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) in Crop Productivity Improvement and Sustainable Agriculture. In: Kumar Srivastava, D., Kumar Thakur, A., Kumar, P. (eds) *Agricultural Biotechnology: Latest Research*

and Trends . Springer, Singapore.

48. Gouda S., Kerry R.G., Das G., Paramithiotis S., Shin H.S., Patra J.K. Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. *Microbiol Res.* 2018;206:131–40.
49. Igiehon N.O., Babalola O.O. Rhizosphere microbiome modulators: contributions of nitrogen fixing bacteria towards sustainable agriculture. *Intern J Environ Res Public Health.* 2018;15:574.
50. Islam M.S., Wong A.T. Climate change and food in/security: a critical nexus. *Environments.* 2017;4:38.
51. Kalenska, S. Food security and innovation solutions in crop production. *Plant and Soil Science.* 2022, 13(2).14-26.
52. Kalenska S., Novytska N., Kalenskyi V., Garbar L., Stolyarchuk T., Doktor N., Kormosh S., Martunov A. The efficiency of combined application of mineral fertilizers, inoculants in soybean growing technology, and functioning of nitrogen-fixing symbiosis under increasing nitrogen rates. *Agronomy Research,* 2022, 20(4), p.730-750.
53. Kehri H.K., Akhtar O., Zoomi I., Pandey D. Arbuscular mycorrhizal fungi: taxonomy and its systematics. *Intern J Life Sci Res.* 2018; 6:58–71.
54. Khare E., Yadav A. The role of microbial enzyme systems in plant growth promotion. *Climate Change Environ Sust.* 2017, 5:122–45
55. Kowalski, P., Zieliński, J., Novak, M., Kaczmarek, A. Arbuscular mycorrhizal fungi in oats: effects on phosphorus acquisition under variable rainfall. *Plant and Soil.* 2022, 469, p.123–142.
56. Luginbuehl L.H., Menard G.N., Kurup S., Van Erp H., Radhakrishnan G.V., Breakspear A., Oldroyd G.E., Eastmond P.J. Fatty acids in arbuscular mycorrhizal fungi are synthesized by the host plant. *Science.* 2017;356:1175–8.
57. Mahanty T., Bhattacharjee S., Goswami M., Bhattacharyya P., Das B., Ghosh A., Tribedi P. Biofertilizers: a potential approach for sustainable

- agriculture development. *Environ Sci Poll Res.* 2017;24:3315–35.
58. Meena M., Swapnil P., Zehra A., Aamir M., Dubey M.K., Goutam J., Upadhyay R. Beneficial microbes for disease suppression and plant growth promotion. In: Singh D, Singh H, Prabha R, editors. *Plant-microbe interactions in agro-ecological perspectives.* Springer: Singapore; 2017. p. 395–432.
59. Nadeem S.M. The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments. *Biotechnol. Adv.*, 2014.
60. Njeru, E.M.; Avio, L.; Sbrana, C.; Turrini, A.; Bocci, G.; Bàrberi, P.; Giovannetti, M. First evidence for a major cover crop effect on arbuscular mycorrhizal fungi and organic maize growth. *Agron. Sustain. Dev.* 2014, 34, p.841–848
61. Novytska N., Gadzvsokiy G., Mazurenko B., Kalenska S., Svistunova I., Martynov O. Effect of seed inoculation and foliar fertilizing on structure of soybean yield and yield structure in Western Polissya of Ukraine *Agronomy Research*, 2020, 18(4).
62. Li J., Liang H., Yan M., Chen L., Zhang H., Liu J., Wang S., Jin Z. Arbuscular mycorrhiza fungi facilitate rapid adaptation of *Elsholtzia splendens* to copper. *Sci Total Environ.* 2017, 599:1462–8.
63. Loo YY, Rukayadi Y, Nor-Khaizura MA, Kuan CH, Chieng BW, Nishibuchi M, Radu S. In Vitro Antimicrobial Activity of Green Synthesized Silver Nanoparticles Against Selected Gram-negative Foodborne Pathogens. *Front Microbiol.* 2018 Jul 16;9:1555.
64. Morales F., Ancín M., Fakhret D., González-Torralba J., Gámez A. L., Seminario A. Photosynthetic metabolism under stressful growth conditions as a basis for crop breeding and yield improvement. *Plants.* 2020, 9, p.88.
65. Mus F., Alleman A.B., Pence N., Seefeldt L.C., Peters J.W. Exploring the alternatives of biological nitrogen fixation, *Metallomics*, Volume 10, Issue

4, April 2018, Pages 523–538

66. Nanda A.K., Wissuwa M. Rapid Crown Root Development Confers Tolerance to Zinc Deficiency in Rice. *Front Plant Sci.* 2016 Mar 31;7:428.

67. Paz-Ares J., Puga M.I., Rojas-Triana M., Martinez-Hevia I., Diaz S., Poza-Carrión, C., Miñambres, M., Leyva, A. Plant Adaptation to Low Phosphorus Availability: Core Signaling, Crosstalks, and Applied Implications. *Mol. Plant.* 2022, 15:104–124.

68. Powell J.R., Rillig M.C. Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi and ecosystem function. *New Phytol.* 2018 Dec;220(4):1059-1075.

69. Ramakrishna W., Yadav R., Li Kefeng. Plant growth promoting bacteria in agriculture: Two sides of a coin. *Applied Soil Ecology*, Volume 138, 2019, Pages 10-18.

70. Ramankutty N., Mehrabi Z., Waha K., Jarvis L., Kremen C., Herrero M., Rieseberg L. Trends in Global Agricultural Land Use: Implications for Environmental Health and Food Security, *Annual Review of plant biology*, Volume 69, 2018, Vol. 69:789-815

71. Rich M.K., Nouri E., Courty P.E., Reinhardt D. Diet of arbuscular mycorrhizal fungi: bread and butter? *Trends in Plant Sci.* 2017;22:652–60.

72. Rillig M.C. Arbuscular mycorrhizae, glomalin and soil aggregation /Rillig M.C. //*Can. J. Soil Sci.* – 2004. – Vol. 84. – P. 355-363.

73. Santander C., Aroca R., Ruiz-Lozano J.M., Olave J., Cartes P., Borie F., Cornejo P. Arbuscular mycorrhiza effects on plant performance under osmotic stress. *Mycorrhiza.* 2017, 27:639–57.

74. Shweta G.B., Somwanshi S.D., Magar S.J. Combined Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Bradyrhizobium Japonicum on Growth, Yield and Nodulation in Soybean. *Asian Journal of Microbiology and Biotechnology* , 2024, 9(2):138-143

75. Smith S.E. Mycorrhizal fungi can dominate phosphate supply to plant irrespective of growth responses /Smith S.E., Smith F.A., Jakobsen I. //*Plant*

Physiol. – 2003. – Vol. 133. – P. 16-20.

76. Smith A., Jones B., Liu C., Martin D., Patel E. Phosphate -solubilizing bacteria enhance phosphorus uptake and yield in cereals: a meta- analysis. *Field Crops Research*. 2019, 238:1–15.

77. Teotia, P., Kumar, V., Kumar, M., Shrivastava, N., Varma, A. Rhizosphere Microbes: Potassium Solubilization and Crop Productivity – Present and Future Aspects. In: Meena, V., Maurya, B., Verma, J., Meena, R. (eds) *Potassium Solubilizing Microorganisms for Sustainable Agriculture*. Springer, New Delhi. 2016.

78. Tamagno, S., Sadras, V.O., Haegele, J.W. Interplay between nitrogen fertilizer and biological nitrogen fixation in soybean: implications on seed yield and biomass allocation. *Sci Rep*. 2018, 8, 17502.

79. Verma, P., Yadav, A.N., Kumar, V., Singh, D.P., Saxena, A.K. (2017). Beneficial Plant-Microbes Interactions: Biodiversity of Microbes from Diverse Extreme Environments and Its Impact for Crop Improvement. In: Singh, D., Singh, H., Prabha, R. (eds) *Plant-Microbe Interactions in Agro-Ecological Perspectives*. Springer, Singapore.

80. Wang, S.Q., Han, X. Z. Root morphology and nitrogen accumulation in soybean (*Glycine max L.*) under different nitrogen application levels. *Chin J Eco-Agric*. 2019, 17(6), p.1069–1073.

81. Wang S., Ciais P., Reich P.B. Ellsworth D.S., Janssens I.A., Sardans J., Luo Y., Smith N.G., Du E., Tian D., Jiang Y., Ding Y., Penuelas J. Phosphorus constrains global photosynthesis more than nitrogen does. *Nat Ecol Evol*. 2025

82. Wu S, Zhang X, Huang L, Chen B. Arbuscular mycorrhiza and plant chromium tolerance. *Soil Ecol Lett*. 2019.

83. Xu P, Han L, He J, Luo F, Zhang L. Research advance on molecular ecology of asymbiotic nitrogen fixation microbes. *J Appl Ecol*. 2017;28:3440–50.

84. Zhang X., Qiu Y., Gilliam F., Gillespie C., Tu C., Reberg-Horton S., Hu S.

Arbuscular mycorrhizae shift community composition of N-cycling microbes and suppress soil N₂O Emission. *Environ. Sci. Tech.* 2022, 56, 13461–13472.