МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет плодоовочівництва, екології та захисту рослин
Кафедра біології

Допущено до захисту
«___» _____ 2025 року
Зав. кафедри, к.с.-г.н., доцент
_____ Лариса РОЗБОРСЬКА

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
магістра

ВПЛИВ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ СОЇ БІОЛОГІЧНИМИ ПРЕПАРАТАМИ НА ФОРМУВАННЯ ЇЇ ПРОДУКТИВНОСТІ В УМОВАХ НВВ УНУ

Виконав: студент 2 курсу, групи 21 м-б
спеціальності 091 Біологія та біохімія
освітньо-професійної програми Агробіологія
Віталій БАРАН
Керівник: Олександр ЗАБОЛОТНИЙ

Умань – 2025

ЗМІСТ

ВСТУП 4

РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ВИКОРИСТАННЯ БІОЛОГІЧНИХ ПРЕПАРАТІВ У ПОСІВАХ СОЇ 6

1.1. Мікробіологічні препарати як елемент біологізації агровиробництва 6

1.2. Активність формування бобово-ризобіальних комплексів та азотфіксувальна активність сої за дії препаратів на основі різобій 9

1.3. Мікробіологічна активність ґрунту за використання біопрепаратів 11

1.4. Зміни фітосанітарного стану посівів сої за використання біологічних препаратів мікробного походження 14

1.5. Вплив мікробних препаратів на формування ростових, продуктивних та якісних показників сої 16

РОЗДІЛ 2. УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ОСНОВНИХ ОБЛІКІВ І СПОСТЕРЕЖЕНЬ 19

2.1. Географічне місце проведення досліджень 19

2.2. Ґрунтові умови 19

2.3. Кліматичні умови 20

2.4. Характеристику особливостей об’єкту дослідження 22

2.5. Схема досліду 25

2.6. Методика проведення дослідження 26

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ 27

3.1. Формування бобово-ризобіального комплексу сої за інокуляції насіння мікробними препаратами 27

3.2. Розміри фотосинтетичної поверхні сої за інокуляції її насіння мікробіологічними препаратами 29

3.3. Стан пігментного комплексу сої при застосуванні мікробних препаратів 30

3.4. Чиста продуктивність фотосинтезу за використання препаратів бульбочкових бактерій 32

3.5. Урожайність сої за обробки її насіння мікробіологічними препаратами 34
РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ СОЇ ЗА БАКТЕРИЗАЦІЇ НАСІННЯ ПРЕПАРАТАМИ БУЛЬБОЧКОВИХ БАКТЕРІЙ 38
ВИСНОВКИ 42
ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ 43
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 44
ДОДАТКИ 50

ВСТУП

Зернобобові культури – найважливіші ланки агроценозів, які не мають аналогів за рівнем збору білка та жиру з одиниці площі. Вони є доступною альтернативою значно дорожчого тваринного білка, що робить їх ідеальними для поліпшення та збалансування раціону харчування людей. Необхідно відмітити важливе агротехнічне значення вирощування зернобобових, які є добрим попередником для вирощування більшості сільськогосподарських культур. Водночас виникає багато запитань щодо реалізації генетичного потенціалу існуючих сортів в умовах змін клімату. Існує цілий ряд об'єктивних обставин, що не дають змоги отримати високий рівень урожайності насіння зернобобових культур: непрофесійні підходи щодо підбору сортів за групами стиглості; низький рівень ресурсного забезпечення у технологіях їх вирощування; недостатня наукоємність технологічних процесів, що не забезпечує задоволення біологічних потреб існуючих сортів у факторах розвитку [1].

Актуальність кваліфікаційної роботи. Запорукою формування високої продуктивності насіння зернобобових культур загалом та сої зокрема є розкриття потенціалу культури шляхом інокуляції насіння та позакореневої обробки біологічними препаратами, у тому числі й мікробного походження, у критичні періоди росту та розвитку рослин культури [2, 3]. Нині на українському ринку представлено велику різноманітність препаратів, як мікробного походження, так і рістстимулювального характеру, більшість з яких не мають результатів виробничої перевірки та використовуються в якості рекламної продукції дилерів. Серед цих препаратів представлено як всесвітньо відомі бренди, так і технологічні досягнення відомих компаній [4, 5].

Мета і завдання дослідження – удосконалення існуючої технології вирощування сої шляхом інокуляції насіння мікробними препаратами на основі ризобій на формування урожайності культури за умов навчально-виробничого відділу Уманського НУ.

Об'єкт дослідження – формування бобово-ризобіального комплексу, розмірів фотосинтетичного апарату, пігментного комплексу, показника чистої продуктивності фотосинтезу та врожайності культури.

Предмет дослідження **–** соя сорту Муза, мікробіологічні препарати бульбочкових бактерій TerraMax Dry, Maximize, Оптімайз 200 та Оптімайз 400.

Наукова новизна дослідження **–** в умовах НВВ Уманського національного університету вперше досліджено вплив мікробіологічних препаратів на основі бульбовчковихї бактерій на формування симбіотичного апарату та основних фізіологічних процесів, що лежать в основі формування продуктивності сої.

Практична цінність дослідження **–** здійсненими дослідженнями зумовлено вибір мікробіологічного препарату з найбільшою ефективністю, який сприяє найбільш ефективному протіканню основних фізіологічних процесів у рослинному організмі, формуванню ефективного бобово-ризобіального комплексу найвищої продуктивності культури.

Апробація результатів досліджень. За темою поданої кваліфікаційної роботи опубліковано тезу у збірнику праць Всеукраїнської наукової інтернет-конфренції «Сучасні проблеми біології в умовах змін клімату».

Баран В.Ю., Заболотний О.І. Ефективність біологічних препаратів мікробного походження у посівах сої. *Матеріали Всеукраїнської наукової інтернет-конфренції «Сучасні проблеми біології в умовах змін клімату»*. (27 червня 2025 р., м. Умань). Умань. 2025. С. 7–8. (додаток А 1).

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ ВИКОРИСТАННЯ БІОЛОГІЧНИХ ПРЕПАРАТІВ У ПОСІВАХ СОЇ

1.1. Мікробіологічні препарати як елемент біологізації агровиробництва

За даними дослідження органічного ринку у 2019 р., проведеного Information Center Green Dossier (OrganicInfo.ua), Органік Стандарт та Research Institute of Organic Agriculture (FiBL), Україна посідає друге місце (із 123 країн) з експорту органічної продукції в ЄС. Офіційні статистичні огляди IFOAM підтверджують, що в 2018 р. в Україні нараховувалось близько 510 органічних господарств, а загальна площа сільськогосподарських угідь, на яких ведеться органічне виробництво, становила 429100 га. Серед виробників органічної продукції понад 4,6% зайняті вирощуванням бобових. Слід зазначити, що однією з основних культур родини *Fabaceae,* яка вирощується в Україні, є соя (*Glycine max* (L.) Merr.) Соя є однією з ключових білково-олійних культур, чутливою до впливу біологічних препаратів мікробного походження, які можуть значно впливати на її фізіологічні процеси та продуктивність.

За даними ФАО (Світової продовольчої організації), сою активно вирощують у понад ніж 80 країнах. Нині світове виробництво насіння сої складає понад 360 млн тон. Незмінними лідерами виробництва насіння сої є Бразилія, Аргентина та США, які в останні роки разом збирали 272 млн т сої, що становить близько 74% світового виробництва насіння культури. Також до світових виробників належать Китай із валом зерна 18,1 млн т, Парагвай – майже 10,0 млн т та Індія – 5 млн т. Україна посідає восьме місце з виробництва сої у світі (близько 4,5 млн т) та шосте – з її продажів [6].

Нині спостерігається істотне зростання посівних площ та валових зборів сої, і актуальним є питання біологізації її виробництва. Одним із сучасних методів підвищення виробництва рослинного білка сої та екологічно безпечного функціонування агрофітоценозів є застосування біопрепаратів мікробного походження та активізація мікробно-рослинної взаємодії, що

приведе до зменшення навантаження хімічних пестицидів в агроекосистемах, до покращання фітосанітарного стану в агроценозах, а також сприятиме активізації природних процесів – азотофіксації й фосфатмобілізації та підвищенню потенціалу рослинно-мікробної взаємодії [7].

У сучасних біологізованих агротехнологіях виробництва зерна сої особлива роль належить ґрунтовим мікроорганізмам. Одним із провідних шляхів оптимізацій агроекосистем за умова органічного вирощування сої є застосування біологічних препаратів мікробного походження на основі азотфіксувальних та фосфатмобілізувальних бактерій. Адже бактеризація насіння сої істотно сприяє активному розвитку симбіотичного апарату, підвищує продуктивність культури [8].

За умов органічного виробництва зерна сої ефективним є застосовування мікробних препаратів, створених на основі саме природних штамів мікроорганізмів. Ці мікроорганізми під час вегетації сої перетворюють складні сполуки до простих та доступних для живлення рослини. Завдяки повноцінному комплексу мікроорганізмів рослини сої отримують необхідне кореневе живлення, що сприяє реалізації генетичного потенціалу її продуктивності [9, 10].

За вирощування сої проводять передпосівну бактеризацію, тобто інокуляцію насіння, що сприяє підвищенню врожайності культури до 10–15%, також покращується якість її насіння [8]. Для інокуляції використовують мікробні препарати, що базуються передусім на основі азотфіксувальних бактерій, тому їх застосування є суто біологічним процесом, який забезпечує одночасно живлення та захист рослин з підвищенням їх врожайності. Значну роль відіграють бульбочкові бактерії виду *Bradyrhizobium japonicum*, за відсутності яких соя з культури, яка акумулює фіксований азот атмосфери, перетворюється в культуру, що використовує азот ґрунту [11].

У боротьбі зі шкідниками й хворобами також набувають популярності мікробіологічні методи, що передбачають застосування біологічних препаратів – бактеріальних, грибних і вірусних, які вибірково діють на зниження та

підтримання на безпечному рівні чисельності шкідливих організмів. Загальною перевагою мікробних препаратів перед хімічними є те, що вони не акумулюються у виробленій продукції [12]. Це дає змогу їх використання саме в органічному рослинництві.

Так як в фітоценозах та агроценозах України відсутні види дикої сої, і пропорційно, в ґрунтах відсутні відповідні ризобії, запровадження сої в агроценози має супроводжуватися внесенням біопрепаратів на базі високоефективних штамів саме бульбочкових бактерій [13, 14]. Однак на ефективність інокуляції сої чинить вплив низка у більшості негативних факторів як кліматичних, так і антропогенних та біологічних, що знижують ефективність цього прийому.

За дії ряду негативних факторів ефективним може бути внесення біопрепаратів комплексної дії. Нині актуальним є запровадження комплексних препаратів мікробного походження, що характеризуються різнобічним впливом на розвиток та функціонування польових культур. Доведено позитивну дію фітогормонів на нодуляційну здатність бобових, нітрогеназну активність кореневих бульбочок та продуктивність бобових культур [15–17], а також їх резистентність до ряду фітопатогенів [18].

Отже, з наведеного матеріалу випливає, що у сучасному сільському господарстві України спостерігається зростаючий інтерес до використання біологічних препаратів у вирощуванні сої. Це зумовлено прагненням зменшити залежність від хімічних добрив і пестицидів, підвищити екологічну безпеку та забезпечити стійкість агросистем до стресових факторів. Біопрепарати, зокрема інокулянти на основі азотфіксувальних бактерій, біофунгіциди та біостимулятори, відіграють ключову роль у покращенні росту, розвитку та врожайності сої.

1.2. Активність формування бобово-ризобіальних комплексів та азотфіксувальна активність сої за дії препаратів на основі різобій

Одним із способів збільшення виробництва рослинного білка сої та екологічно безпечного функціонування агрофітоценозів є застосування біопрепаратів та активізація мікробно-рослинної взаємодії, що приведе до зменшення навантаження хімічних пестицидів в агроекосистемах, до покращання фітосанітарного стану в агроценозах, а також сприятиме активізації природних процесів – азотофіксації й фосфатмобілізації та підвищенню потенціалу рослинно-мікробної взаємодії [7].

Дослідженнями, виконаними у посівах сої із застосуванням інокуляції насіння мікробними препаратами, встановлено, що у варіантах з інокуляцією маса кореневих бульбочок достовірно відрізнялася від показників контролю без інокуляції.

За відсутності «місцевих» популяцій бульбочкових бактерій спостерігали достовірне збільшення показників маси кореневих бульбочок у порівнянні з контролем без обробки насіння сої. Біопрепарати впливали на накопичення маси бульбочок приблизно на одному рівні. Тільки в пізні фази органогенезу спостерігали достовірне перевищення показників маси кореневих бульбочок у варіантах з обробкою насіння Ризобофітом, Ризогуміном і Біограном на 18 %, 17 % і 31 %, відповідно, у порівнянні з масою бульбочок у варіанті з обробкою насіння бактеріальною суспензією.

Цими ж дослідженнями встановлено, що показники азотфіксувальної активності симбіозу у варіантах з інокуляцією достовірно не відрізнялися, тільки у пізні фази органогенезу у варіанті з Біограном зростала нітрогеназна активність по відношенню до дії інших інокулянтів. На початкових фазах органогенезу рослин найвищі показники нітрогеназної активності спостерігали у варіанті з обробкою насіння Ризогуміном. Так, за дії цього препарату азотфіксувальна активність перевищувала на 29–46 % аналогічні показники варіанту з обробкою насіння бактеріальною суспензією *B. japonicum* M 8 [19].

Крутило Д.В. [20] повідомляє, що «польовим дослідом Інституту сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН

встановлено, що попри наявність у ґрунті гетерогенної популяції ризобій сої, застосування всіх досліджуваних штамів бульбочкових бактерій (*B. japonicum* 46, *B. japonicum* М8 та *B. japonicum* КВ11) сприяло істотному збільшенню кількості бульбочок у 5,5–12,6 рази порівняно з контролем. За спільної інокуляції сої штамами з різною швидкістю росту цей показник достовірно перевищував моноінокуляцію (у 1,1–2,1 рази). Максимальна кількість бульбочок спостерігалася у варіантах із застосуванням 2-х комбінацій з повільним та інтенсивним ростом штамів – *B. japonicum* 46 + *B. japonicum* КВ11 та *B. japonicum* М8 + *B. japonicum* КВ11. Зі збільшенням кількості бульбочок за поєднаного застосування штамів *B. japonicum* достовірно збільшувалася і їхня маса. Максимальні значення цього показника відзначено у фазі наливу бобів – 1,16–1,23 г на 1 рослину.

Результати серологічного аналізу засвідчили, що інокуляція істотно змінювала співвідношення штамів у бульбочках. Так, за моноінокуляції сої досліджуваними штамами *B. japonicum* КВ11, *B. japonicum* 46 та *B. japonicum* М8 вони повністю домінували в бульбочках (100,0%), витісняючи місцеві ризобії, що є доказом їх високої конкурентоспроможності».

Передпосівна інокуляція насіння мікробними препаратами, такими як Ризолік Топ, Оптимайз 400 та ХайКот Супер, позитивно впливає на розвиток і продуктивність різних сортів сої, стимулюючи формування та функціонування нодуляційного азотфіксувального апарату. Встановлено, що бульбочки розміщувалися переважно на головному корені та розгалуженнях першого порядку на глибині 0–15 см. Вони мали світло-рожеве забарвлення, що опосередковано може свідчити про їхню азотфіксувальну активність. Найбільшу кількість активних бульбочок було виявлено у варіанті з інокулянтом Ризолік Топ і становило в середньому 31 шт./рослину, що на 83,9% більше за кількість бульбочок на варіанті з протруєним насінням. Важливим фактом є те, що у контролі без обробки насіння середня кількість активних бульбочок та їх маса є більшою, ніж у варіанті з хімічними протруйниками без інокуляції, що може вказувати на деяку пригнічувальну дію

хімічних препаратів на утворення й функціонування бульбочкових бактерій [21].

1.3. Мікробіологічна активність ґрунту за використання біопрепаратів

Мікробіологічна активність ґрунту є ключовим показником його родючості та екологічного стану. Відомо, що використання біопрепаратів мікробного походження сприяє активізації корисної мікрофлори, покращенню азотного та вуглецевого обміну, а також формуванню стійких агроекосистем. Мікробні препарати є важливим фактором регулювання біорізноманіття та чисельності ґрунтової мікробіоти в агробіоценозах. Застосування біопрепаратів мікробного походження сприяє зростанню філогенетичного й таксономічного різноманіття ґрунтів, порівнюючи зі класичною системою землеробства, зростає чисельність специфічних мікробіологічних таксонів, що беруть участь у пригніченні шкодо чинних ґрунтових мікроорганізмів [22, 23].

Ретроспективний аналіз наукових публікацій вказує, що біопрепарати мікробного походження здатні впливати на чисельність різноманітних корисних груп ґрунтової мікробіоти в агрофітоценозах, тим самим покращуючи родючість ґрунту, ріст рослин та їх стійкість до стресових чинників [24].

Дослідженнями, проведеними в умовах ТОВ «Інститут прикладної біотехнології» встановлено, що біопрепарати Екостерн та Граундфікс у 1,8–2,1 рази підвищують кількість амоніфікаторів у ризосфері рослин порівняно із контрольним варіантом ($4{,}0\times10^5$ та $4{,}6\times10^5$ КУО/г проти $2{,}2\times10^5$ КУО/г ґрунту відповідно). Олігонітрофільні мікроорганізми мінералізують безазотисту органічну речовину ґрунту. Моніторинг чисельності та активності вищезазначених бактерій, зокрема їх головного представника *Azotobacter* у ґрунті дає змогу оцінити його біологічний потенціал, доступність поживних речовин для рослин, а також наявність токсикантів, що можуть негативно впливати на ріст і розвиток рослинних культур. Встановлено, що за вирощування рослин сої сорту Кент із додаванням біодеструктора Екостерн чисельність олігонітрофільних бактерій підвищувалась на 33,3%, Граундфіксу –

на 14,3% порівняно із контролем ($0,9\times10^5$ КУО/г та $0,7\times10^5$ КУО/г проти $0,6\times10^5$ КУО/г ґрунту відповідно). Також за вирощування рослин сої у присутності біопрепаратів Екостерн та Граундфікс спостерігали найвищу чисельність оліготрофів (відповідно $1,4\times10^5$ КУО/г та $1,3\times10^5$ КУО/г ґрунту), яка виявилась на 57% і 54% вищою, ніж у контрольному зразку ($0,6\times10^5$ КУО/г ґрунту) [25].

Відомо, що педотрофна мікробіота відіграє важливу роль у мінералізації органічних сполук вуглецю гумусу, що сприяє надходженню доступних форм азоту, фосфору, сірки та інших поживних для рослин елементів. Крім того, педотрофи приймають участь у створенні структури ґрунту, впливаючи на агрегацію його частинок [26].

Також в умовах ТОВ «Інститут прикладної біотехнології» встановлено, що чисельність педотрофів, за вирощування рослин Glycine max L. із додаванням біопрепарату Екостерн дорівнювала $1,6\times10^5$ КУО/г ґрунту, що у 1,5 рази нижче порівняно із контролем ($2,4\times10^5$ КУО/г ґрунту). Варто зазначити, що найвищі значення педотрофів були виявлені за впливу біопрепарату Граундфікс ($2,5\times10^5$ КУО/г ґрунту), що на 4% вище порівняно із контролем. Чисельність мікроорганізмів, які використовують мінеральні форми азоту, була найвищою у контролі ($1,6\times10^5$ КУО/г ґрунту). У дослідних варіантах у присутності біопрепаратів Екостерн ($0,2\times10^5$ КУО/ г ґрунту) та Граундфікс ($0,7\times10^5$ КУО/ г ґрунту) чисельність вище зафіксованої групи була нижче у 8 і 2,3 рази відповідно, порівняно із контролемзоту [25].

Цими ж дослідженнями виявлено, що кількість спороутворювальних бактерій, які беруть участь у трансформації органічної речовини, за вирощування рослин сої сорту Кент із додаванням біопрепарату Екостерн (5,4×105 КУО/г ґрунту), підвищується в 13,5 раза порівняно із контролем (0,4×105 КУО/ г ґрунту). В той самий час за вирощування рослин сої із внесенням біопрепарату Граундфікс (0,2×105 КУО/г ґрунту) вона зменшується в 2 рази порівняно із контролем. Зниження чисельності спорових форм у ґрунті означає, що більшість мікроорганізмів активно беруть участь у різноманітних

ґрунтових процесах, як-от розклад органічних речовин, перетворення поживних елементів та взаємодія з рослинами [25].

Інші дослідження показали, що застосування біопрепаратів МікоХелп та ФітоХелп сприяє підвищенню мікробіологічної активності ґрунту, що супроводжується змінами основних еколого-трофічних груп мікробіому та сприяє підвищенню чисельності бактерій, які використовують органічні сполуки азоту [27].

Дослідженнями, виконаними в Інституті агроекології і природокористування НААН України за вирощування рослин сої сорту Сузір'я, встановлено, що найвищу кількість мікроорганізмів, які використовують переважно органічні сполуки азоту у ґрунті спостерігали у варіанті із додаванням біопрепарату ФітоХелп ($6{,}4 \cdot 10^6$ КУО/г ґрунту), що у 18,8 та 5,3 рази вище, ніж у контрольному ($3{,}4 \cdot 10^5$ КУО/г ґрунту) та еталонному ($1{,}2 \cdot 10^6$ КУО/г ґрунту) варіантах. Також встановлено, що за вирощування рослин сої сорту Кент із додаванням біопрепарату ФітоХелп чисельність олігонітрофільних бактерій знижувалась на 48,7%, порівняно із контролем ($2{,}3 \cdot 10^5$ КУО/г ґрунту). У той самий час за вирощування сої сорту Сузір'я із додаванням біопрепаратів ФітоХелп та МікоХелп зменшення чисельності олігонітрофільних бактерій порівняно із контрольним варіантом не відбувалось. Олігонітрофільні бактерії у ґрунті представлені переважно видами роду *Azotobacter*, які є індикаторами зміни концентрації фосфору у ґрунті, калію, кальцію та загальної фітотоксичності. Чисельність автохтонних мікроорганізмів (педотрофів), завдяки своїй трофічній специфічності варіювала в межах $1{,}5 \cdot 10^5$– $1{,}8 \cdot 10^6$ КУО/г ґрунту для зразків, на яких вирощували сою сорту Кент, та в межах $1{,}9 \cdot 10^5$–$8{,}8 \cdot 10^6$ КУО/г ґрунту для зразків, на яких вирощували сою сорту Сузір'я. Варто зазначити, що найвища кількість цієї фізіологічної групи була визначена для ґрунту, під соєю сорту Кент, вирощеною за впливу біопрепарату ФітоХелп, та під соєю сорту Сузір'я, вирощеною за впливу біопрепарату МікоХелп [7].

1.4. Зміни фітосанітарного стану посівів сої за використання біологічних препаратів мікробного походження

Встановлено, що мікробні препарати виступають важливим фактором впливу на поширеність фітопатогенних мікроорганізмів в агроценозах [28–30]. Мікроорганізми, що виступають у якості діючої речовини мікробних препаратів, здатні вступати в конкурентні відносини з аборигенними видами мікроорганізмів, у тому числі й фітопатогенними, та є індукторами резистентності природної екосистеми. Численні дослідження вказують, що мікроорганізми у складі біопрепаратів можуть бути сильними антагоністами фітопатогенної мікрофлори [31, 32].

Нині відомо, що інокуляція насіння сої біопрепаратами на основі різобій сприяє пригніченню хвороб рослин на тлі зростання продуктивності культури. Бактеріальний антагонізм ґрунтується на кількох чинниках, зокрема утворення сидерофорів та антибіотиків; синтез ферментів гідролітичного характеру дії (хітиназа, глюконаза, протеаза і ліпаза), які здатні руйнувати клітини фітопатогенних бактерій та грибів; спричинення конкурентних відносин, зокрема стосовно елементів живлення на поверхні кореневої системи та здійснювати регуляцію рівню етилену (рослинний фітогормон) за сприяння ферменту аміноциклопропан-1-карбоксилат (ACC)-деамінази, як реакцію на стресову дію фітопатогенних мікроорганізмів [33–35].

Результати досліджень деяких науковців вказують, що застосування активних штамів бульбочкових бактерій також знижує ураженість рослин хворобами коренів, як, наприклад, кореневими гнилями і в’яненням люпину. Підвищення стійкості рослин пов’язують з біологічними властивостями штамів бактерій, поліпшенням азотного живлення, конкуренцією між патогенами і симбіонтами за поживні речовини, змінами в імунітеті рослин-господарів. Підрахунки ураженості сої кореневими гнилями (фузаріозного типу) показали, що у варіантах без обробки насіння на фоні без добрив, поширення захворювання (ступінь розвитку не більше 1 бали) становило близько 29 % на рослинах сорту Легенда і 26 % – сорту Анжеліка.

Ефективнішим був штам бульбочкових бактерій *B. japonicum* КД-1: за обробки ним насіння поширення хвороби знижувалося до 8,0 % на посівах сорту Анжеліка і до 11 % – сорту Легенда. Обприскування посівів Кладостимом знизило поширення церкоспорозу сої, відповідно, на сортах Легенда і Анжеліка, з 85 і 94 % на контролі, до 44 і 58 % (незалежно від фону вирощування та обробки насіння) [36].

Вплив мікробних препаратів для захисту рослин сої від хвороб можна трактувати не як пряму дію на хворобу, а швидше, як наслідок покращення умов для росту і розвитку рослин, формування синтетичної продуктивності, звільнення рослин від супутніх хвороб. Зниження поширення хвороб може бути пов'язаним з антагоністичною дією бактерій на збудників захворювань рослин.

Іншими дослідженнями із вивчення впливу мікробних препаратів на фітосанітарний стан посівів сої виявлено, що у варіантах з використанням препаратів «Триходермін» та «Фітодоктор» лабораторна схожість реєструвалась майже на одному рівні – 85,1 % та 85,3 % відповідно, а кількість умовно здорових проростків була дещо вищою у разі застосування препарату «Триходермін» – 95,2 %, що на 2,3 % вище, ніж у варіанті з «Фітодоктором» (92,9 %). Фактично обидва біофунгіциди майже однаково негативно впливали на виявлену бактеріальну та грибну патогенну мікрофлору, але «Триходермін» виявив більшу ефективність проти хвороб грибної етіології, прояв яких зменшився до 3,3 % [37].

Загалом, однією з базових функцій препаратів мікробного походження в агробіоценозах культурних рослин у цілому та сої зокрема є пригнічення чисельності шкодочинних мікроорганізмів у ґрунтовому мікробіомі з метою активізації в рослинному організмі фізіолого-біохімічних процесів, що забезпечують одержання екологічно безпечної та якісної продукції рослинництва [38, 39].

1.5. Вплив мікробних препаратів на формування ростових, продуктивних та якісних показників сої

Наукові дослідження стверджують, що застосування бактерій *Pseudomonas fluorescens* у поєднанні з речовинами стимулювального характеру позитивно впливає на біометричні показники рослин сої та їх продуктивність. Зокрема, маса 1000 насінин збільшувалася в межах від 16 до 66 г, а урожайність насіння зростала до 1,1 т/га. Також відмічено зниження інфікування насіння сої збудниками фузаріозу, альтернаріозу та пеніцильозу [40].

Дослідженнями О.В. Тертичної зі співавторами [21] показано, що передпосівна бактеризація насіння сприяє підвищенню біометричних показників рослин упродовж вегетації сої. Так, за рахунок застосування мікробних препаратів середня висота рослин сої збільшилась від 1,8% (ХайКот Супер) до 9,3% (Ризолік Топ) порівняно з варіантом із протруювачами.

За результатами досліджень, виконаними під керівництвом професора Бахмата О.М. [41] встановлено, що якісні показники насіння сої у сорту Легенда значною мірою залежали від інокуляції. Максимальний вміст сирого протеїну на рівні 34,2–34,9% спостерігався в насінні сої у варіанті, де передпосівну інокуляцію проводили штамами 634б і 614А. На контрольному варіанті (без обробок і без сидерації) вміст білка в сої в середньому становив 33,3%. Інокуляція насіння штамом 634б збільшувала вміст білка в насінні порівняно з контролем у сорту Легенда на 1,6%. Аналіз олійності насіння засвідчив, що найвищий вміст олії (21,4%) становив у варіанті з обробкою насіння штамами 634б і 614А на фоні заробки зеленого добрива. Під впливом інокуляції насіння біопрепаратами у досліді виявлено тенденцію до збільшення виходу білка і сирого жиру та кормових одиниць. У всіх варіантах з обробкою насіння штамами 634б, 614А та М–8 помічено збільшення виходу білка і кормових одиниць з 1 кг насіння сої на рівні 1,38–1,43 кг. Вміст перетравного протеїну на контролі (без обробки і без сидерації) був на рівні 293,8 г на 1 кг насіння, тоді як у варіанті з обробкою насіння штамами 634б і 614А дорівнював 305,0–306,8 г. Вміст фосфору був на 0,31% вищим у варіанті з обробкою

насіння штамом 634б порівняно з контролем і становив 0,90%. Низький відсоток фосфору в насінні сої спостерігався на контролі (без обробки і без сидерації) – 0,59%. При передпосівній обробці насіння штамами 634б, 614А вміст кальцію в насінні сої був вищим на 0,06-0,08%. Найвищий показник за вмістом кальцію виявлено на варіанті, де насіння обробляли штамом 614А на фоні зеленого добрива у сорту Легенда – 0,25%, тоді як на контролі без обробки – 0,17%. Вміст екстрактивних речовин збільшувався у варіанті з інокуляцією насіння штамом 634б, М–8 і був на рівні 20,3–20,8%, що на 3,2–3,7% більше, ніж на контролі.

Дослідженнями впливу інокуляції насіння сої мікробними препаратами на посівні якості культури встановлено, що вихід кондиційного насіння сої по варіантах досліду (у середньому за п’ять років) змінювався залежно від сортових особливостей. Так, у сорту «Алмаз», цей показник становив 88–90%, у сорту «Александрит» – 86–90%, а у сорту «Антрацит» – 84–87%. Після очистки урожайність кондиційного насіння по сортах сої у варіантах досліду була в межах 1,36–1,73 т/га.

У сорту «Алмаз» урожайність кондиційного насіння була на рівні 1,36–1,53 т/га, з максимальним показником у варіанті А+Б+В (ризобофіт, фосфоентерин, біополіцид) – 1,53 т/га. Лише на 0,02 т/га менше був показник у варіанті А (ризобофіт). Відмічено, що у сорту «Александрит» показники урожайності кондиційного насіння були найвищі серед досліджуваних сортів –1,47–1,73 т/га (варіанти А та А+Б+В). У варіанті А+Б+Г (ризобофіт, фосфоентерин, флавобактерин), цей показник був нижче, ніж у контролі (1,47т/га).

У сорту «Антрацит» найвищий показник урожайності відмічено у варіанті А+Б+Г – 1,69 т/га, що на 0,17т/га вище, ніж у контролі. Показники урожайності кондиційного насіння сорту Антрацит по варіантах досліду була в межах 1,52–1,69 т/га.

Маса 1000 насінин у досліді змінювалася з 167,4 г до 193,4 г. Так, маса 1000 насінин у досліді з сортом «Алмаз» була найвищою (193,4 г) у разі

обробки біокомплексом (варіант А+Б+В – ризобофіт, фосфоентерин і біополіцид). Слід звернути увагу, що у цього сорту прибавка була максимальною у варіанті А+Б+В порівняно з контролем, відповідно 25,0 і 20,6 г [42].

РОЗДІЛ 2
УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ОСНОВНИХ ОБЛІКІВ І СПОСТЕРЕЖЕНЬ

2.4. Характеристику особливостей об'єкту дослідження

Сорт Муза – Сорт створено Національним науковим центром «Інститут землеробства» НААН України. Внесений до Державного реєстру сортів рослин України з 2015 року.

Скоростиглий сорт, тривалість вегетаційного періоду – 100–102 доби (в умовах Київської області). Рекомендований для Полісся та Лісостепу України.

Морфологічні ознаки:

- Висота рослини – 85–90 см.
- Висота прикріплення нижніх бобів – 13–14 см.
- Тип росту – проміжний.
- Суцвіття – багатоквіткова китиця, на квітконосі 14–15 квіток фіолетового кольору.
- Опушення рослини – руде.
- Насіння – овальне, жовте, з коричневим рубчиком овальної форми без «вічка».
- Маса 1000 насінин – 235–245 г.

Господарсько-біологічна характеристика:

- Вміст білка – 41–42 %.
- Вміст олії – 20–21 %.
- Потенційна урожайність – до 5 т/га.
- Сорт стійкий до вилягання та основних хвороб.

Особливості вирощування:

Рекомендована норма висіву: при широкорядному способі – 600–650 тис. схожих насінин/га, при рядковому способі – 650–700 тис. схожих насінин/га.

Завдяки скоростиглості може бути хорошим попередником під озимі культури. Добре реагує на інокуляцію насіння бульбочковими бактеріями.

Переваги сорту:

- Висока стабільність урожаю за різних кліматичних умов.
- Підвищений вміст білка і олії.
- Пластичність до умов вирощування.
- Добра придатність для харчової промисловості та кормових цілей [43].

TerraMax Dry – це сухий інокулянт із стабілізатором на основі гуматів і двох штамів *Bradyrhizobium japonicum* (USDA 110 та IMB B-7726) з титром життєздатних клітин 1x10^8 КУО/г для передпосівної обробки бобових культур. Завдяки своїй сухій формі та адгезійним властивостям ним можливо обробляти насіння безпосередньо в сівалці. Але, якщо технологічна схема інша, препаративна форма дозволяє проводити завчасну (до 30 днів) обробку насіння до висіву. Покращує фіксацію атмосферного азоту, підходить для інокуляції протруєного насіння та адаптований до різних технологій вирощування. Добре сумісний із більшістю протруйників, окрім тебуконазолу і тираму. Норма витрати – 2,5 кг/т насіння [44].

Maximize – мікробний препарат, містить симбіонти бобових культур: *Bradyrhizobium japonicum – не менш 4×10^9 КУО/мл препарату.* Являє собою стабілізуючий рідкий інокулянт. *Призначений для* передпосівної обробки насіння сої та гороху, забезпечує утворення симбіотичних зв'язків коренів рослини та бактерій для покращення азотного живлення за рахунок біологічної фіксації атмосферного азоту. Оригінатор – група компаній UKRAVIT [45].

Оптімайз 200 – це сучасний біопрепарат для обробки посівного матеріалу сої, який містить щонайменше 2x10^9/мл живих клітин бактерій роду *Bradyrhizobium japonicum* +ліпо-хітоолігосахарид 1x10^{-7}. Препарат стимулює природні ростові процеси, пов'язані з азотфіксацією, та дає змогу рослинам отримати краще живлення й розвиток. Продукти лінійки Оптімайз із ЛХО-промоутер технологією навіть за стресових умов дозволяє значно підвищити рівень розвитку рослин та врожайність загалом. Інокулянт Оптімайз (200) створено за сучасної технології, на основі чистої культури бактерії *Bradyrhizobium japonicum*, із використанням компонентів формуляції, що

подовжують термін виживання бактерій на насінні. Ліпохіто-олігосахарид (ЛХО) — це унікальна молекула, яка покращує живильні властивості рослин, сприяє продуктивному утворенню азотфіксуючих кореневих бульбочок, а також розвитку коріння і молодих пагонів. Формуляція препарату дає змогу досягати позитивного ефекту незалежно від сорту та умов навколишнього середовища. Препарат зберігає ефективність протягом тривалого часу. Рідка препаративна форма дає змогу візуального контролю якості препарату й життєздатності бактерій. А відносно низька норма застосування препарату гарантує збереження часу та ресурсів на його застосування. Рослини, насіння яких було оброблене Оптімайз, краще забезпечені азотом із ранніх етапів росту, загалом такі рослини більш розвинені, здоровіші та стійкіші до несприятливих факторів навколишнього середовища, шкідників, хвороб тощо. Виробник – корпорація Bayer [46].

Оптімайз 400 – інокулянт для обробки насіння сої, містить штами бульбочкових бактерій *Bradyrhizobium japonicum*, титр життєздатних клітин бактерій не менше $5x10^9$/мл живих клітин бактерій + ліпо-хітоолігосахарид $1x10^{-7}$. Інокулянт створено за сучасної запатентованої технології, на основі чистої культури бактерії Bradyrhizobium japonicum, з використанням компонентів формуляції, що подовжують термін виживання бактерій на насінні. Ліпо-хітоолігосахарид (ЛХО) – це унікальна молекула, яка в момент присутності, покращує живильні властивості рослин, сприяє продуктивному утворенню азотфіксуючих кореневих бульбочок, а також розвитку коріння і молодих пагонів. Формуляція препарату дозволяє досягати позитивного ефекту, незалежно від сорту та умов навколишнього середовища, а препарат зберігає ефективність протягом тривалого часу. Рідка препаративна форма надає можливість візуального контролю якості препарату та життєздатності бактерій.

Ліпо-хітоолігосахарид грає ключову роль в комунікації між рослиною і бактеріями ґрунту. Молекула ЛХО запускає роботу ряду рослинних генів, включення яких чітко корелюється з ранніми стадіями симбіозу основних генів флавоноїдного синтезу. Іншими словами ЛХО – це сигнал клітинам кореня,

який інформує, що саме час починати формування бульбочок, де відбувається ініціація клітинного поділу. Виробник – корпорація Bayer [47].

2.5. Схема досліду

Таблиця 2.2

Схема досліду

Сорт сої	Варіант досліду
Муза	Обробка водою (контроль)
	TerraMax Dry (2,5 кг/т)
	Maximize (1,28 кг/т)
	Оптімайз 200 (2,8 кг/т)
	Оптімайз 400 (1,8 л/т)

I повторність					II повторність					III повторність				
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

Рис. 2.1. Схема розміщення дослідних ділянок

РОЗДІЛ 3
РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Формування бобово-ризобіального комплексу сої за інокуляції насіння мікробними препаратами

Результати досліджень із вивчення впливу передпосівної бактеризації насіння сої активними штамами бульбочкових бактерій засвідчують, що застосування різних біопрепаратів мало суттєвий вплив на інтенсивність бульбочкоутворення у рослин сої у фазі цвітіння культури, як за чисельністю, так і за масою бульбочок (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Формування бобово-ризобіального комплексу сої за інокуляції насіння мікробними препаратами, фаза цвітіння культури, 2025 р.

Варіант досліду	Чисельність бульбочок, шт./рослину	Вага бульбочок, г/рослину
Обробка водою (контроль)	20	0,64
TerraMax	27	0,76
Maximize	33	0,93
Оптімайз 200	38	1,01
Оптімайз 400	40	1,10

Так, у контрольному варіанті (обробка водою) середня кількість бульбочок становила 20 шт./рослину, а їх середня маса – 0,64 г/рослину. Застосування препарату TerraMax достовірно підвищило обидва показники – до 27 шт./рослину та 0,76 г/рослину, що на 35 % і 19 % перевищує контроль.

Подальше зростання кількості бульбочок спостерігалося при використанні препарату Maximize – 33 шт./рослину та 0,93 г/рослину, що на 22 % більше порівняно з варіантом TerraMax і на 65 % більше за контроль

($p<0,05$). Це свідчить про більш активний симбіотичний процес під впливом препарату Maximize.

Препарат Оптімайз 200 забезпечив подальше достовірне зростання чисельності бульбочок до 38 шт./рослину (+15 % до варіанту Maximize та +90 % до контролю) та маси бульбочок до 1,01 г/рослину (+9 % до варіанту Maximize).

Найвищі показники спостерігалися у варіанті Оптімайз 400 – 40 бульбочок із сумарною масою 1,10 г/рослину. У порівнянні з Оптімайз 200 різниця за кількістю бульбочок становила +5 %, а за масою – +9 %, що є статистично достовірним при $p<0,05$. Водночас різниця між Оптімайз 400 і Maximize становила +21 % за кількістю та +18 % за масою бульбочок, що свідчить про більш виражений стимулювальний ефект вищої концентрації препарату.

Загалом простежується чітка тенденція до поступового збільшення обох показників у ряду:

Контроль → TerraMax → Maximize → Оптімайз 200 → Оптімайз 400, де кожний наступний варіант істотно перевищує попередній.

Причиною виявленого підвищення кількості та маси бульбочок є дія біопрепаратів, створених на основі активних штамів бульбочкових бактерій (роду *Rhizobium*), які сприяють інтенсивнішому утворенню симбіотичних структур, покращують заселення кореневої зони та активізують процеси азотфіксації. Завдяки цьому поліпшуються умови живлення рослин і створюються сприятливі передумови для розвитку потужнішого симбіотичного апарату.

Таким чином, найвищу ефективність забезпечив препарат Оптімайз 400, який достовірно перевищував усі інші варіанти за чисельністю та масою бульбочок, що вказує на його значний стимулювальний вплив на формування симбіотичного апарату рослин.

3.2. Розміри фотосинтетичної поверхні сої за інокуляції її насіння мікробіологічними препаратами

Виконані дослідження виявили, що передпосівна обробка насіння сої препаратами на основі активних штамів бульбочкових бактерій також істотно впливала на формування листкового апарату рослин. За результатами обліків, у фізі цвітіння культури у варіантах досліду із використанням біопрепаратів площа листкової поверхні була вищою порівняно з контролем.

Зокрема, у контрольному варіанті (обробка водою) листкова поверхня становила 23,5 тис. м²/га (100 %). Застосування препарату TerraMax забезпечило зростання показника до 28,3 тис. м²/га, або на 20 % більше від контролю. У варіанті з обробкою насіння препаратом Maximize площа листкової поверхні зросла до 28,9 тис. м²/га (+23 % до контролю), а у варіантах із застосуванням передпосівної обробки насіння препаратами Оптімайз 200 та Оптімайз 400 – відповідно до 29,5 і 30,3 тис. м²/га, що перевищує контроль на 26 % і 29 % (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

Площа листя сої за інокуляції її насіння мікробіологічними препаратами, фаза цвітіння культури, 2025 р.

Варіант досліду	Листкова поверхня, тис. $м^2$/га	До контролю, %
Обробка водою (контроль)	23,5	100
TerraMax	28,3	120
Maximize	28,9	123
Оптімайз 200	29,5	126
Оптімайз 400	30,3	129

Порівняльний аналіз між дослідними варіантами показав, що спостерігається поступове та достовірне зростання листкової поверхні у ряду: Контроль → TerraMax → Maximize → Оптімайз 200 → Оптімайз 400,

де кожен наступний препарат забезпечував значуще перевищення попереднього за досліджуваним показником.

Збільшення площі листкової поверхні за умов передпосівної інокуляції насіння препаратами бульбочкових бактерій зумовлено підвищенням азотного живлення рослин унаслідок активізації біологічної фіксації азоту. Активні штами *Rhizobium japonicum*, що входять до складу біопрепаратів, інтенсифікують процес утворення та функціонування бульбочок, завдяки чому підвищується надходження фіксованого азоту у рослину. Це сприяє посиленню синтезу білків, хлорофілу та нуклеїнових кислот, поліпшенню фотосинтетичної активності листків і формуванню потужнішого вегетативного апарату.

Крім того, біопрепарати стимулюють ростові процеси через виділення фітогормонів (ауксинів, цитокінінів і гіберелінів), які впливають на подовження клітин, прискорюють утворення листкових пластинок і збільшують загальну асиміляційну поверхню посівів. У результаті рослини формують більш розвинений листковий апарат, здатний ефективніше поглинати світлову енергію та забезпечувати інтенсивніший фотосинтез.

Таким чином, встановлено, що передпосівна інокуляція насіння сої активними штамами бульбочкових бактерій є важливим біологічним чинником збільшення площі листкової поверхні. Найвищу ефективність забезпечив препарат Оптімайз 400, у варіанті з яким зафіксовано максимальну величину листкової поверхні – 30,3 тис. м²/га ($p<0,01$).

3.3. Стан пігментного комплексу сої при застосуванні мікробних препаратів

Проведеними дослідженнями також виявлено, що передпосівна обробка насіння сої препаратами на основі активних штамів бульбочкових бактерій позитивно впливала на накопичення фотосинтетичних пігментів у листковому апараті рослин, що свідчить про посилення їх фотосинтетичної активності.

Так, у варіанті з обробкою насіння сої препаратом TerraMax вміст хлорофілу *a* у фазі цвітіння культури зріс на 0,10 мг/г сирої речовини порівняно

з контролем, тоді як за дії препарату Maximize цей показник збільшився на 0,14 мг/г (рис. 3.1).

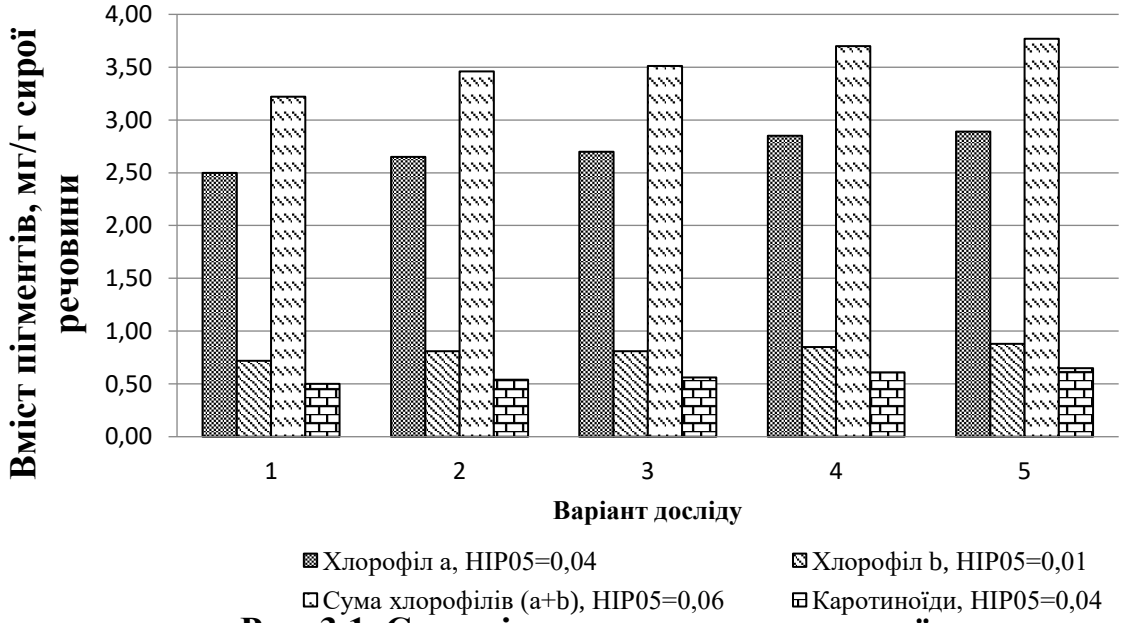


Рис. 3.1. Стан пігментного комплексу сої при застосуванні мікробних препаратів (початок цвітіння, 2025 р.)

1. Без препаратів (контроль); 2. TerraMax; 3. Maximize; 4. Оптімайз 200; 5. Оптімайз 400.

Значно вищі результати спостерігалися при використанні препарату Оптімайз 200, де вміст хлорофілу *a* перевищував контроль на 0,28 мг/г сирої речовини, а у варіанті Оптімайз 400 – на 0,39 мг/г.

Подібна закономірність простежувалася і щодо вмісту хлорофілу *b*: його концентрація зростала відповідно до інтенсивності дії препаратів, досягаючи максимального рівня у варіанті з обробкою насіння Оптімайз 400 – на 0,11 мг/г сирої речовини більше порівняно з контролем. Як наслідок, у цьому ж варіанті зафіксовано найвищий показник суми пігментів (*a+b*), який перевищував контрольний на 0,46 мг/г сирої речовини.

Зміни у вмісті каротиноїдів також корелювали з дією мікробних препаратів. При застосуванні TerraMax кількість каротиноїдів зросла на 0,033 мг/г, за дії Maximize – на 0,061 мг/г, тоді як найвищі значення відзначено у варіантах із препаратами Оптімайз 200 та Оптімайз 400, де вміст каротиноїдів перевищував контроль відповідно на 0,095 і 0,133 мг/г сирої речовини.

Отримані результати свідчать, що активні штами бульбочкових бактерій (роду *Rhizobium japonicum*), які входять до складу препаратів, стимулюють утворення функціонально активних бульбочок і підвищують інтенсивність біологічної фіксації азоту. Підвищене надходження біологічного азоту до рослин сприяє посиленню синтезу білкових сполук і пігментних молекул, зокрема хлорофілів і каротиноїдів, які містять у своїй структурі азот і магній.

Крім того, дія мікробних препаратів зумовлює підвищення активності ферментних систем (зокрема, глутаміносинтетази та δ-амінолевулінової кислоти синтази), які беруть участь у біосинтезі хлорофілу. Одночасно бульбочкові бактерії продукують біоактивні речовини – ауксини, цитокініни та гібереліни, що стимулюють диференціацію хлоропластів, посилюють накопичення хлорофілу та стабілізують пігментно-білкові комплекси фотосистем.

Отже, проведені дослідження свідчать, що передпосівна обробка насіння сої біопрепаратами на основі активних штамів бульбочкових бактерій істотно підвищує вміст фотосинтетичних пігментів у листках рослин. Найбільш інтенсивне накопичення хлорофілів *a, b* та каротиноїдів спостерігалося у варіантах з препаратами Оптімайз 200 і особливо Оптімайз 400, що зумовлено посиленням біологічної фіксації азоту, активізацією ферментативних процесів і синтезу пігментних молекул. Зростання вмісту пігментів відображає підвищення фотосинтетичної активності листкового апарату та свідчить про покращення фізіолого-біохімічного стану рослин під впливом біопрепаратів. Таким чином, використання інокулянтів на основі бульбочкових бактерій є ефективним біологічним чинником оптимізації фотосинтетичної продуктивності сої.

3.4. Чиста продуктивність фотосинтезу за використання препаратів бульбочкових бактерій

Подальші дослідження із вивчення впливу бактеризації насіння сої мікробними препаратами на основі бульбочкових бактерій свідчать, що передпосівна обробка насіння сої біопрепаратами сприяла істотному

підвищенню показника чистої продуктивності фотосинтезу (ЧПФ) у фазі цвітіння порівняно з контролем.

Зокрема, у контрольному варіанті (обробка водою) у фазі цвітіння культури показник ЧПФ складав 4,22 г×м²/добу. Під впливом бактеризації насіння сої препаратом TerraMax цей показник збільшився до 4,68 г×м²/добу, або на 11 % порівняно з контролем. У варіанті досліду Maximize чиста продуктивність фотосинтезу зросла до 5,03 г×м²/добу, що становить 119 % від контрольного значення (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Показник чистої продуктивності фотосинтезу рослин сої за використання препаратів бульбочкових бактерій, 2025 р.

Варіант досліду	ЧПФ, г×м^2/добу	До контролю, %
Обробка водою (контроль)	4,22	100
TerraMax	4,68	111
Maximize	5,03	119
Оптімайз 200	5,12	121
Оптімайз 400	5,35	127

Дещо вищі результати отримано при застосуванні Оптімайз 200, де показник ЧПФ досяг 5,12 г×м²/добу (+21 % до контролю). Максимальну інтенсивність фотосинтезу зафіксовано у варіанті з препаратом Оптімайз 400 – 5,35 г×м²/добу, що на 27 % перевищує контроль.

Виконаний аналіз отриманих результатів досліджень свідчить про поступове підвищення ЧПФ у ряду: Контроль → TerraMax → Maximize → Оптімайз 200 → Оптімайз 400, де кожен наступний препарат забезпечував статистично достовірне зростання показника порівняно з попереднім.

На нашу думку, підвищення показника чистої продуктивності фотосинтезу безпосередньо пов’язано із збільшенням площі листкової поверхні та вмісту фотосинтетичних пігментів, що спостерігалося у тих самих варіантах

досліду. Зокрема, застосування препаратів *Rhizobium japonicum* стимулювало формування потужнішого листкового апарату, збільшення концентрації хлорофілів *a* і *b* та каротиноїдів, що, у свою чергу, підвищувало інтенсивність фотосинтетичних процесів і швидкість асиміляції CO_2.

З фізіолого-біохімічної точки зору, зростання ЧПФ пояснюється активізацією процесів азотного обміну, підвищенням синтезу білків фотосинтетичного апарату та покращенням енергетичного балансу хлоропластів, що забезпечує більш ефективне використання фотонної енергії у реакціях фотосинтезу. Крім того, продукування бульбочковими бактеріями фітогормонів (ауксинів, цитокінінів і гіберелінів) сприяє утворенню нових фотосинтетично активних тканин і підвищує тривалість функціональної активності листків.

Подібні тенденції підвищення фотосинтетичної продуктивності сої під впливом інокуляції насіння препаратами на основі *Rhizobium* вказують, що інокуляція стимулює фотосинтетичну активність через покращення азотного живлення і підвищення вмісту хлорофілу.

Таким чином, результати досліджень підтверджують, що застосування препаратів бульбочкових бактерій є ефективним біологічним чинником підвищення чистої продуктивності фотосинтезу сої. Найвищі показники ЧПФ отримано у варіанті з препаратом Оптімайз 400, що зумовлено поєднаною дією збільшення листкової поверхні, вмісту фотосинтетичних пігментів і загальної біологічної активності рослинного організму.

3.5. Урожайність сої за обробки її насіння мікробіологічними препаратами

Отримані результати стосовно пливу досліджуваних препаратів на формування зернової продуктивності сої свідчать, що передпосівна обробка насіння культури препаратами на основі активних штамів бульбочкових бактерій (*Rhizobium japonicum*) сприяла достовірному підвищенню урожайності зерна порівняно з контролем.

Так, у контрольному варіанті (обробка водою) урожайність зерна складала 1,45 т/га. Використання для передпосівної обробки насіння сої препарату TerraMax забезпечило підвищення урожайності до 1,59 т/га, тобто прибавку в 0,14 т/га (10 %) відносно контролю. У варіанті з бактеризацією насіння препаратом Maximize урожайність зросла до 1,66 т/га, що відповідає прибавці 0,21 т/га (14 %) до контролю, а застосування препарату Оптімайз 200 забезпечило отримання 1,82 т/га зерна, що на 0,37 т/га або 26 % більше від показника контролю (табл. 3.4).

Таблиця 3.4

Зернова продуктивність сої за обробки її насіння мікробіологічними препаратами, 2024 р.

Варіант досліду	Урожайність, т/га	Прибавка врожаю, т/га	До контролю, %
Обробка водою (контроль)	1,45	0,00	100
TerraMax	1,59	0,14	110
Maximize	1,66	0,21	114
Оптімайз 200	1,82	0,27	126
Оптімайз 400	1,92	0,47	132
$НІР_{05}$	*0,08*		

Максимальну ефективність продемонструвала інокуляція насіння сої препаратом Оптімайз 400, за використання якого урожайність досягла 1,92 т/га, що становить приріст порівняно з контролем у 0,47 т/га або 32 %.

Порівняльний аналіз між варіантами підтвердив поступове достовірне зростання урожайності у ряду: Контроль → TerraMax → Maximize → Оптімайз 200 → Оптімайз 400, де різниця між сусідніми варіантами у більшості випадків перевищувала $НІР_{05}$ 0,08 т/га, що свідчить про статистичну достовірність впливу препаратів на показник урожайності.

Зростання врожайності сої під впливом біопрепаратів безпосередньо пов'язане з покращенням фізіолого-біохімічного стану рослин, що було підтверджено результатами попередніх досліджень. Зокрема, встановлено, що інокуляція насіння стимулювала:

– інтенсивніше бульбочкоутворення (+100 % до контролю за чисельністю бульбочок);
– збільшення листкової поверхні (+29 %);
– підвищення вмісту фотосинтетичних пігментів (зростання хлорофілів *a* і *b* до +0,39 мг/г та +0,11 мг/г відповідно);
– збільшення чистої продуктивності фотосинтезу (ЧПФ) до 5,35 г×м²/добу (+27 % до контролю).

Такі зміни свідчать про комплексний позитивний вплив застосування препаратів бульбочкових бактерій на фотосинтетичну діяльність і біологічну продуктивність рослин. Адже біопрепарати, що містять активні штами *Rhizobium japonicum*, сприяють утворенню ефективних бобово-ризобіальних комплексів, у результаті чого зростає інтенсивність біологічної фіксації азоту, що покращує азотне живлення рослин, стимулює синтез білків і ферментів фотосинтезу, підвищує акумуляцію асимілянтів і сприяє їх перерозподілу у насіння.

Крім того, бульбочкові бактерії продукують фітогормони – ауксини, цитокініни та гібереліни, які позитивно діють на ріст кореневої системи, активізують поглинання води та елементів живлення, стимулюють закладання генеративних органів і формування зерна. Ці процеси зумовлюють зростання фотосинтетичної продуктивності агробіоценозу, що безпосередньо відображається у підвищенні врожайності. Загалом, інокуляція насіння сої активними штамами *Rhizobium* забезпечує приріст урожайності на 15–30 % за рахунок покращення фотосинтетичної активності та забезпеченості рослин азотом. Застосування інокулянтів сприяє підвищенню асиміляційної поверхні, вмісту хлорофілу та інтенсивності фотосинтезу, що комплексно підвищує біологічну продуктивність сої.

Таким чином, результати досліджень підтверджують, що передпосівна обробка насіння сої біопрепаратами на основі активних штамів бульбочкових бактерій є ефективним біологічним методом підвищення врожайності. Найвищий рівень урожайності (1,92 т/га) отримано у варіанті з препаратом Оптімайз 400, де комплекс фізіолого-біохімічних процесів у рослинах перебував на оптимальному рівні, забезпечуючи найвищу реалізацію потенціалу продуктивності культури.

РОЗДІЛ 4
ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ СОЇ ЗА БАКТЕРИЗАЦІЇ НАСІННЯ ПРЕПАРАТАМИ БУЛЬБОЧКОВИХ БАКТЕРІЙ

Отримані результати аналізу показників економічної ефективності застосування передпосівної обробки сої препаратами бульбочкових бактерій свідчать, що даний агрозахід забезпечує відчутний економічний ефект. Основним чинником приросту урожаю в дослідних варіантах є активізація процесу біологічної азотфіксації, завдяки якій рослини отримують доступ до додаткових джерел азоту протягом усієї вегетації. Це сприяє інтенсивнішому росту, кращому розвитку кореневої системи, формуванню більшої кількості бобів і збільшенню маси насіння, що відображається у приростi врожайності.

Порівняльний аналіз показує, що найменшу прибавку сформував препарат TerraMax (0,14 т/га), а найбільшу — Оптімайз 400 (0,47 т/га), що свідчить про різну інтенсивність інокуляції та ефективність штамів бульбочкових бактерій. Збільшення врожайності безпосередньо зумовило приріст вартості валової продукції, який варіював від 2520 до 8460 грн/га.

Важливо зазначити, що додаткові витрати на бактеризацію були досить низькими та коливалися від 715 до 825 грн/га. Таким чином, економічна доцільність застосування препаратів визначається високим співвідношенням між отриманим додатковим доходом та понесеними витратами. Розрахунки показали, що використання мікробних інокулянтів забезпечувало приріст умовно-чистого прибутку 16841–21196 грн/га, що перевищує показник контролю (14966 грн/га). Найвищий прибуток сформував варіант із застосуванням препарату Оптімайз 400, що пояснюється як найбільшою врожайністю, так і високою вартістю додатково отриманої продукції (табл. 4.1).

Таблиця 4.1. Економічна ефективність вирощування сої за передпосівної бактеризації насіння препаратами бульбочкових бактерій, 2025 р.

Варіант досліду	Урожайність, т/га	Прибавка врожаю, т/га	Загальні витрати на вирощування культури, грн./га	В т.ч. додаткові, грн./га	Вартість продукції за ціною реалізації, грн./га	В т.ч. додаткової, грн./га	Умовно-чистий прибуток з 1 га, грн	Собівартість 1 т продукції, грн.	Рівень рентабельності, %	Окупність додатко-вих витрат, рази.
Обробка водою (контроль)	2,00	0,00	21034,0	0,0	36000,0	0,0	14966,0	10517	71,2	0,0
TerraMax	2,15	0,14	21859,0	825,0	38700,0	2520,0	16841,0	10167	77,0	3,1
Maximize	2,21	0,21	21749,0	715,0	39780,0	3780,0	18031,0	9841,2	82,9	5,3
Оптімайз 200	2,32	0,27	21786,0	752,3	41760,0	4860,0	19974,0	9390,6	91,7	6,5
Оптімайз 400	2,39	0,47	21824,0	790,2	43020,0	8460,0	21196,0	9131,5	97,1	10,7

Не менш важливим показником є собівартість виробництва сої, яка характеризує ефективність використання ресурсів. Завдяки підвищенню врожайності собівартість 1 т продукції в дослідних варіантах знизилася з 10517 грн/т (контроль) до 9131–10167 грн/т.

Таким чином, кожен досліджений препарат сприяв удосконаленню структури витрат і підвищенню ефективності виробництва, а найнижчої собівартості досягнуто у варіанті з обробкою насіння сої препаратом Оптімайз 400.

Підвищення урожайності, зменшення собівартості та збільшення чистого прибутку позитивно відобразилися на рівні рентабельності – важливому інтегральному показнику економічної ефективності. За застосування обробки насіння бактеріальними препаратами рентабельність зросла до 77,0–97,1 %, що суттєво перевищує контрольний рівень (71,2 %). Найвищий рівень рентабельності забезпечило використання препарату Оптімайз 400 (97,1 %), що свідчить про його здатність значно підвищувати економічну віддачу з одиниці площі.

Особливої уваги заслуговує показник окупності додаткових витрат, який відображає ефективність фінансових вкладень у бактеризацію насіння. У варіантах досліду окупність становила від 3,1 до 10,7 разів, що є високим показником для рослинницької продукції. Найвищу окупність отримано у варіанті з препаратом Оптімайз 400 – 10,7 рази. Це є переконливим доказом доцільності використання високоефективних інокулянтів у технології вирощування сої.

Отже, результати комплексного економічного аналізу свідчать, що передпосівна бактеризація насіння сої препаратами бульбочкових бактерій є технологічно і економічно виправданим заходом. Вона забезпечує стабільне підвищення врожайності, зниження собівартості продукції, зростання чистого прибутку та суттєве підвищення рентабельності виробництва. Серед досліджених варіантів найбільш ефективним виявився препарат Оптімайз 400, який забезпечив максимальну прибавку врожаю та найкращі економічні

показники, що дозволяє рекомендувати його для широкого впровадження у виробничій практиці господарств різних форм власності.

ВИСНОВКИ

1. Передпосівна інокуляція насіння сої препаратами бульбочкових бактерій сприяла посиленню формування симбіотичного апарату рослин. Кількість бульбочок у дослідних варіантах зросла з 20 шт./рослину (контроль) до 27–40 шт./рослину, а їх маса – з 0,64 г/рослину до 0,76–1,10 г/рослину, що перевищувало контроль на 19–90 %. Найвищі показники одержано при застосуванні препарату Оптімайз 400, де приріст кількості бульбочок становив 20 шт., а маси – 0,46 г порівняно з контролем.
2. Інокуляція насіння забезпечила інтенсивніше формування фотосинтетичної поверхні рослин сої. Листкова площа зросла з 23,5 тис. м²/га у контролі до 28,3–30,3 тис. м²/га у дослідних варіантах, що відповідало приросту на 20–29 %. Найвищий показник отримано у варіанті Оптімайз 400 – 30,3 тис. м²/га, що на 6,8 тис. м²/га більше від контролю.
3. Передпосівна обробка препаратами *Rhizobium japonicum* сприяла підвищенню вмісту фотосинтетичних пігментів у листках. Вміст хлорофілу *a* зріс порівняно з контролем на 0,10–0,39 мг/г сирої речовини, хлорофілу *b* – до 0,11 мг/г, а сума хлорофілів *a+b* збільшилася максимально на 0,46 мг/г у варіанті Оптімайз 400. Вміст каротиноїдів підвищився на 0,033–0,133 мг/г, що свідчить про посилення біосинтезу пігментів та покращення стану фотосинтетичного апарату.
4. Зростання асиміляційної поверхні та пігментного комплексу зумовило підвищення фотосинтетичної продуктивності рослин. Показник чистої продуктивності фотосинтезу збільшився від 4,22 г×м²/добу у контролі до 4,68–5,35 г×м²/добу у дослідних варіантах, що становило приріст на 11–27 %. Максимальне значення ЧПФ (5,35 г×м²/добу) відмічено у варіанті Оптімайз 400.
5. Комплекс позитивних фізіолого-біохімічних змін забезпечив достовірне підвищення зернової продуктивності сої. Урожайність збільшилася з 1,45 т/га (контроль) до 1,59–1,92 т/га, що відповідає приросту на 0,14–0,47 т/га

або 10–32 %. Найвищу врожайність – 1,92 т/га – одержано за використання препарату Оптімайз 400, де прибавка склала 0,47 т/га, що суттєво перевищує $НІР_{05}$ = 0,08 т/га.

6. Серед досліджених варіантів найбільш ефективним з точки зору економічної доцільності виявилося застосування для передпосівної обробки насіння сої препарату Оптімайз 400, що забезпечило найкращі економічні показники.

ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

На основі різнобічного аналізу ефективності застосування препаратів на основі бульбочкових бактерій виробництву рекомендується при вирощуванні сої проводити передпосівну бактеризацію насіння культури препаратом Оптімайз 400, що забезпечує отримання прибавки врожаю зерна до 0,47 т/га за рівня рентабельності у 97,1% та окупності додаткових витрат у 10,7 рази.

ДОДАТКИ

Додаток А4

РОЗРАХУНОК ДОДАТКОВИХ ВИТРАТ НА ЗАСТОСУВАННЯ МІКРОБНИХ БІОПРЕПАРАТІВ

TerraMax Dry (2,5 кг/т):

1) вартість препарату для обробки насіння – 1940 грн/кг, що становить 485 грн на гектарну норму насіння;
2) витрати на обробку насіння – 300 грн
3) витрати на збирання додатково отриманого врожаю – 0,14 т/га×300 грн/т = 42 грн
4) разом – 825 грн/га

Maximize (1,28 кг/т):

1) вартість для обробки насіння – 2750 грн/кг, що становить 352 грн на гектарну норму насіння;
2) витрати на обробку насіння – 300 грн
3) витрати на збирання додатково отриманого врожаю – 0,21 т/га×300 грн/т = 63 грн
4) разом – 715 грн/га

Оптімайз 200 (2,8 кг/т):

1) вартість для обробки насіння – 1326 грн/кг, що становить 371,3 грн на гектарну норму насіння;
2) витрати на обробку насіння – 300 грн
3) витрати на збирання додатково отриманого врожаю – 0,27 т/га×300 грн/т = 81 грн
4) разом – 752,3 грн/га

Оптімайз 400:

1) вартість препарату для обробки насіння – 1940 грн/кг, що становить 349,2 грн на гектарну норму насіння;
2) витрати на обробку насіння – 300 грн
3) витрати на збирання додатково отриманого врожаю – 0,47 т/га×300 грн/т = 141 грн
4) разом – 790,2 грн/га