

---

## Ефективність оброблення насіння сої культурної *Glycine max* (L.) Merr. біопрепаратами у підвищенні її продуктивності

**Сергій Димитров**

сектор методичного забезпечення, Український інститут експертизи сортів рослин, Київ, Україна

ORCID 0000-0002-0377-9596

**Василь Саблук**

Лабораторія ентомології і фітопатології, Інститут біоенергетичних культур та цукрових буряків НААН України, Київ, Україна

ORCID 0000-0002-6124-4346

### Для цитування цієї статті:

Димитров Сергій, Саблук Василь. Ефективність оброблення насіння сої культурної *Glycine max* (L.) Merr. біопрепаратами у підвищенні її продуктивності. International Science Journal of Engineering & Agriculture Vol. 2, No. 3, 2023, pp. 67-81. doi:10.46299/j.isjea.20230203.07.

**Надійшла до редакції:** 17 квітня 2023 р.; **Схвалено:** 23 квітня 2023 р.;

**Опубліковано:** 01 червня 2023 р.

---

**Анотація:** Мета. Встановлення ефективності оброблення насіння сої біопрепаратами у підвищенні її продуктивності. Методи. Польові, лабораторні та статистичні. Результати. За використання біопрепаратів для оброблення насіння сої перед сівбою отримано позитивні результати щодо їх впливу на ріст та розвиток рослин і формування врожаю цієї культури. Зокрема, площа листків у варіантах з грибами *Glomus VS* і *Trichoderma harzianum* RIFAI. (препарат Мікофренд) та *Tuber melanosporum* VITTAD. (препарат Міковітал) і бактеріями *Bacillus subtilis* Cohn. (препарат Флоробацілін) за обліків на 30, 60 і 90 днів органогенезу була на 24,4–69,8 % більшою порівняно з контролем. Так само маса листків та маса кореневої системи переважали показники контролю відповідно на 8,3–40,5 % і 9,3–59,8 %. Разом з тим, у варіантах з мікоризоутворювальними грибами підвищувалась вологоутримуюча здатність ґрунту на 11,4–14,8 % та його структурно-агрегатний стан – частка грудочок розміром – 0,25–10,0 мм була більшою за контроль на 0,9–5,2 %. Відповідно підвищувалась порівняно з контролем урожайність насіння сої культурної на 0,14–0,89 т/га. Особливо високу ефективність у покращенні росту та розвитку рослин сої отримано за використання біопрепарату Мікофренд. Зокрема, у варіантах з ним наростання площі листової поверхні було більшим за контроль у 40,9–89,8 % тоді як з іншими препаратами (Міковітал і Флоробацілін) ці показники становили 24,5–47,9 %, що на 12,8–16,4 % менше. Така ж різниця проявляється і в інших елементах росту та розвитку рослин таких зокрема як маса кореневої системи, висота рослин, фотосинтетичний потенціал і продуктивність фотосинтезу тощо. Висновки. Використання мікоризоутворювальних грибів *Glomus VS* і *Trichoderma harzianum* RIFAI. (препарат Мікофренд) і *Tuber melanosporum* VITTAD. (препарат Міковітал), а також азотфіксуючих бактерій *Bacillus subtilis* Cohn. (препарат Флоробацілін) за допосівного оброблення ними насіння сприяють покращенню росту та розвитку рослин сої культурної та підвищенню їхньої продуктивності.

**Ключові слова:** гриби, бактерії, маса листків, вологоутримуюча здатність, структурно-агрегатний склад.

---

## 1. Вступ

Соя (*Glycine max* L. Merr.) є важливою сільськогосподарською культурою в усьому світі завдяки високій поживній цінності її насіння та його універсальності в різних харчових продуктах. Однак продуктивність посівів сої часто обмежується різними факторами, в тому числі як біотичними так і абіотичними стресами. Традиційні методи підвищення продуктивності культури значною мірою базуються на використанні добрив, які здебільшого мають згубний вплив на навколишнє середовище та здоров'я людини. У зв'язку з цим, зростає інтерес до розробки інших методів підвищення її продуктивності, таких зокрема як використання біологічних препаратів. Тому проведення досліджень передбачало встановлення ефективності допосівного оброблення насіння сої біологічними препаратами для підвищення її продуктивності. Вони були зосереджені на оцінці впливу симбіозу грибів і бактерій з кореневою системою сої на ефективність росту та розвитку рослин і їх продуктивність [1].

## 2. Об'єкт і предмет дослідження

Об'єктом досліджень виступає процес формування продуктивності сої *Glycine max* (L.) Merr. за мікоризації її кореневої системи грибами і симбіозу з бактеріями.

Предметом досліджень є рослини сої *Glycine max* (L.) Merr., біометричні та біохімічні показники росту і розвитку рослин та їх врожайність.

## 3. Мета та задачі дослідження

Мета досліджень – встановлення ефективності допосівного оброблення насіння сої культурної біопрепаратами Мікофренд, Міковітал та Флорабацилін у підвищенні її продуктивності.

## 4. Аналіз літератури

Використання симбіотичних мікроорганізмів з різними доміантними функціями є перспективним заходом для покращення росту і розвитку сільськогосподарських рослин, у тому числі сої. Серед цих мікроорганізмів важливе місце займають арбускулярні мікоризні гриби (АМ), які мають багатофункціональний вплив на рослини. Вони підвищують поглинальну здатність кореневої системи, що сприяє збільшенню поглинання поживних речовин і зменшенню негативного впливу посухи та засолення ґрунту на рослини [1; 2]. Особливо важлива роль мікоризних грибів у покращенні вологозабезпечення рослин.

Вода є найважливішим ресурсом та умовою існування рослин. Вона необхідна для всіх типів біохімічних реакцій, які відбуваються в рослинах [3]. Нестабільність різних факторів, таких як посуха та засолення ґрунту, призводить до зміни водного балансу рослин, що, в свою чергу, впливає на інтенсивність фізіологічних процесів, які визначають формування врожаю та його якість [4]. Недостатня аерація ґрунту індукує зниження вмісту води в тканинах рослин, що призводить до уповільнення або припинення росту та відмирання дрібних коренів [5]. Вологість ґрунту суттєво впливає на кореневе поглинання води, але не вся вода доступна рослинам. Співвідношення доступної та недоступної води в ґрунті визначає його вологозабезпеченість [6].

Дефіцит води спричиняє низку негативних біохімічних реакцій у рослині, що впливає на процес фотосинтезу [7]. Зокрема, за її нестачі сповільнюється біосинтез хлорофілу, який часто руйнується під час посухи. Пожовтіння листя під час цього явища також є зовнішнім

проявом дефіциту води [8]. Крім води важливим елементом для росту і розвитку рослин є сонячна енергія, яка у всіх зелених рослин частково витрачається на фотосинтез, а значна її кількість лише нагріває листя [9].

Використання мікоризних грибів та азотфіксуючих бактерій сприяє кращому забезпеченню рослин вологою, а отже і поживними речовинами. Симбіоз грибів і бактерій з корінням рослин позитивно впливає на їхній ріст і розвиток [1]. Вплив мікоризи на ці показники пов'язаний зі збільшенням поглинання поживних речовин, що супроводжується збільшенням площі поверхні кореневої системи [10]. Мікориза також впливає на цілісність рослинних мембран, про що свідчить вища концентрація у них електrolітів [11]. Крім того, використання азотфіксуючих бактерій може підвищити доступність азоту для рослин, що є важливим фактором для їхнього росту та розвитку [12].

У ряді літературних джерел повідомляється про високу ефективність використання біопрепаратів у підвищенні продуктивності сої. Зокрема, нанесення мікоризних грибів та бактерій на насіння сої сприяє підвищенню його схожості та утворенню бічних коренів. Що в свою чергу позитивно позначаються на збільшенні врожайності цієї культури [13].

Ряд дослідників вивчали вплив різних біологічних продуктів на ріст і розвиток сої. Ними встановлено, що використання ендofітних бактерій значно підвищувало продуктивність цієї культури [14]. Крім того, за їх даними інокуляція насіння сої бактеріями *Bacillus amyloliquefaciens* покращує ріст і розвиток рослин в умовах водного стресу [15].

Окрім мікоризних грибів та ендofітних бактерій досліджувались інші біологічні продукти на предмет їхнього використання для підвищення продуктивності сої. Зокрема, дослідженнями Singh [16] встановлено, що інокуляція насіння сої ризобактеріями, що стимулюють ріст рослин (PGPR), сприяла збільшенню їх висоти, кількості стручків та підвищенню врожайності насіння. Аналогічні висновки зроблені Shukla [17] і Zhang [18], які виявили, що використання біодобрив покращує ріст і розвиток рослин цієї культури.

Ефективність біопрепаратів у підвищенні продуктивності сої також визначалась на різних типах ґрунтів. Дослідженнями Gao та ін. [22] і Olanrewaju та ін. [25] встановлено, що інокуляція насіння цієї культури ендofітними бактеріями покращує ріст і розвиток рослин на засоленних і кислих ґрунтах, а в роботах Odeyemi та ін. [24] показано, що використання PGPR сприяє підвищенню врожайності сої на супіщаних ґрунтах.

Дослідженнями Соедарсоно та ін. [30] доведено, що бактерії стимулюють ріст рослин (PGPB) сої від чого підвищується врожайність насіння. Автори, зокрема, відзначають, що PGPB покращують поглинання поживних речовин і морфологію коренів, що в свою чергу сприяє збільшенню біомаси та виробництва насіння. Крім того, дослідженнями Saglam та ін. [28] продемонстровано ефективність застосування ризобактерій, стимулюють ріст рослин (PGPR) і позитивно впливають на підвищення врожайності насіння сої за рахунок покращенню поглинання поживних речовин та стійкістю до стресів.

Окрім використання біологічних препаратів, у світі досліджувались й інші підходи до підвищення продуктивності сої. Зокрема, дослідженнями Sayar та ін. [29] оцінювався вплив безґрунтової культури на ріст і врожайність цієї культури. Автори встановили, що рослини сої, вирощені в гідропонних системах, формували значно вищу врожайність насіння порівняно з вирощеними в ґрунті. Це було пов'язано з точним контролем надходження у рослини поживних речовин та усуненням негативного впливу патогенів, що передаються ґрунтом.

Іншим підходом до підвищення продуктивності насіння сої є використання рослинних екстрактів. У дослідженні Sutanto та ін. [33] встановлювали вплив екстракту часнику на врожайність сої. Автори виявили, що екстракт цього продукту значно підвищував врожайність цієї культури та покращував якість насіння. Це було пов'язано з антимікробними та антиоксидантними властивостями часникового екстракту, які допомогли захистити рослини від стресових факторів та патогенів.

Дослідження Rivas та ін. [27] і Du та ін. [32] також показали, що інокуляція насіння сої АМ-грибами може покращити ріст та розвиток рослин, за рахунок збільшення поглинання

поживних речовин. Du та ін. [21] виявили, що застосування АМ-грибів сприяло підвищенню вмісту азоту, фосфору та калію в рослинах сої, що позначилось на значному збільшенні врожайності насіння.

Крім того, у ряді робіт відмічається позитивна роль використання ризобактерій, що стимулюють ріст та розвиток рослин (PGPR) і підвищують їх врожайність. Так, дослідження Anees та ін. [19] засвідчили той факт, що інокуляція насіння сої штамми PGPR сприяла посиленню росту та розвитку рослин, даної культури їх бульбочкоутворенню та азотфіксації, що позначалось на значному підвищенні врожайності. Цей висновок підтверджують дослідження Zahran та El-Khawas [34], як показали, що застосування PGPR значно збільшило біомасу та вміст поживних речовин у рослинах сої, що в свою чергу сприяло підвищенню врожайності її насіння.

У своїх дослідженнях Bayoumi et al. [20] показав, що використання мікоризних грибів та азотфіксуючих бактерій може покращити ріст та розвиток рослин та продуктивність за рахунок збільшення поглинання поживних речовин з ґрунту. Аналогічні висновки зробили Hossain та ін. [23], які довели, що застосування ризобактерій стимулюють ріст та розвиток рослин (PGPR), і сприяють підвищенню врожайності насіння цієї культури.

Важливим у використанні біопрепаратів є зростання стійкості рослин до різних абіотичних стресових чинників, таких як посуха, засолення ґрунтів та високі температури [26, 31]. Це пояснюється тим, що біологічні препарати покращують ефективність поглинання води та поживних речовин рослинами, що, в свою чергу, допомагає їм впоратися з цими негативними явищами.

Для свого росту і розвитку, окрім води, рослинам потрібні основні поживні речовини, такі як азот, фосфор і калій. Які присутні в ґрунті, але вони не завжди можуть бути доступними у достатній кількості. У той же час використання мікоризних грибів та азотфіксуючих бактерій може сприяти тому, що ці поживні речовини можуть бути більш доступними для рослин, покращуючи їх поглинання та транспортування до кореневої системи [35, 36].

Використання синтетичних добрив може призвести до забруднення навколишнього середовища хімічними речовинами. У той же час використання біопрепаратів, як природних добрив є екологічно чистим методом покращення здоров'я ґрунту та рослин. Дослідження показали, що симбіотичні відносини між рослинами та мікроорганізмами позитивно впливають на структуру ґрунту, мікробне різноманіття та кругообіг поживних речовин [37].

Загалом, використання мікоризних грибів та азотфіксуючих бактерій є ефективною стратегією для покращення росту та розвитку сільськогосподарських рослин, особливо в умовах різних екологічних стресів, таких як посуха та засолення ґрунту. Такий підхід не лише підвищує продуктивність сільськогосподарських культур, але й сприяє сталому розвитку сільського господарства та захисту навколишнього середовища від забруднення [38].

Крім того, дослідження показали, що використання мікоризних грибів і азотфіксуючих бактерій підвищує стійкість рослин до різних хвороб і шкідників. Симбіотичні мікроорганізми покращують імунну систему рослин і виробляють певні сполуки, які є токсичними для патогенів [39].

Важливо зазначити, що переваги використання симбіотичних мікроорганізмів не обмежуються підвищенням врожайності та покращенням якості сільськогосподарської продукції; вони також мають позитивний вплив на навколишнє середовище. Наприклад, азотфіксуючі бактерії можуть зменшити потребу в синтетичних азотних добривах, які негативно впливають на навколишнє середовище та викиди парникових газів [40].

Крім того, симбіотичні відносини між цими мікроорганізмами та корінням рослин забезпечують переваги для обох сторін. Мікроорганізми отримують вуглеводи з коренів рослин і натомість допомагають рослині поглинати поживні речовини та воду з ґрунту [41].

Такий підхід може бути особливо корисним у регіонах з дефіцитом води та високим рівнем засолення ґрунту. Арбускулярні мікоризні гриби (АМ) можуть пом'якшити негативний

вплив цих факторів, покращуючи водний баланс рослин і підвищуючи їхню стійкість до посухи та засолення, що сприяє підвищенню врожайності та покращенню продовольчої безпеки [42, 43].

У ряді робіт підкреслюється критичне значення води для росту і розвитку рослин і роль симбіотичних мікроорганізмів у поліпшенні умов вологості ґрунту та підвищенні продуктивності рослин. Зміна вологості ґрунту змінює баланс мікробних популяцій у ґрунті, що може мати важливі наслідки для здоров'я рослин та їх продуктивність [44].

Загалом, розуміння складних взаємовідносин між рослинами, ґрунтом і мікроорганізмами у ряді випадків має вирішальне значення для розроблення сучасних технологій вирощування сільськогосподарських культур, які можуть задовольнити зростаючий попит на продовольство у світі, що швидко змінюється [45, 46].

Отже, як видно з короткого аналізу літературних джерел ефективність оброблення насіння сої *Glucine max* (L.) Merr. біопрепаратами для підвищення її продуктивності вивчалася досить широко. Використання симбіотичних мікроорганізмів, таких як арбускулярні мікоризні гриби та азотфіксуючі бактерії, сприяє покращенню росту та розвитку рослин та підвищує врожайність сої за рахунок збільшення поглинання поживних речовин, води та підвищення стресостійкості.

## 5. Методи досліджень

Дослідження проводили у 2018–2020 рр. в Інституті біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України в умовах Веселоподільської дослідно-селекційної станції (ВПДСС), яка знаходиться на Лівобережжі Дніпра в зоні типового Лісостепу. Ґрунтовий покрив відзначається строкатістю. Переважають чорноземи солонцюваті та слабосолонцюваті.

Для дослідів використовували гриби *Tuber melanosporum* VITTAO. (препарат Міковітал), *Glomus* VS і *Trichoderma harzianum* RIFAI (препарат Мікофренд) та бактерії *Bacillus subtilis* Cohn. (препарат Флоробацилін). Досліди проводили у 4-х кратній повторності, розмір однієї ділянки 25 м<sup>2</sup>.

Як було намічено програмою дослідження визначали обводненість листків через встановлення їх сирої маси, масу кореневої системи, площу листової поверхні рослин на 30, 60, 90 і 120 дні органогенезу, а також вологоутримуючу здатність ґрунту, його структурно-агрегатний стан та врожайність насіння.

Так, для встановлення маси листків рослин сої культурної у вказані терміни відбирали по 25 листків з кожної повторності і зважували на лабораторних вагах. Отримані дані обробляли з використанням методів статистичного обрахунку [47, 48]. Зокрема суттєвість відхилень між варіантами визначали за показником P-level розрахованим за критерієм Стьюдента.

Для визначення маси кореневої системи рослин цієї культури на захисній смузі відбирали по 10 рослин у кожній повторності у ці ж строки. Кореневу систему викопували на глибині 30 см, відрізали до кореневої шийки, очищали від землі, промивали водою, висушували упродовж 1 години, зважували на лабораторних вагах.

Площу листової поверхні визначали методом сканування за допомогою програмного забезпечення для мобільних додатків «Petiole» [49].

Вологоутримуючу здатність ґрунту визначення шляхом відбору на кожній повторності зразків ґрунту, їх зважували і поміщали у сушильну шафу за температури 100 °C на 5 хв. і повторно зважували. Різниця у масі землі до і після висушування показувала вологоутримуючу здатність ґрунту.

Встановлювали структурно-агрегатний стан ґрунту. Для цього на кожній повторності відбирали 100–150 г., зважували, просівали на ситах з отворами 0,25 і 10 мм і визначали частку грудочок розміром 0,25–10,0 мм у його загальній масі.

## 6. Результати досліджень

Отримані дані за 2017–2019 рр. свідчать про те, що мікоризоутворювальні гриби і азотфіксуючі бактерії у симбіозі із кореневою системою рослин сої культурної сприяють покращенню їх росту та розвитку. Зокрема, у цих варіантах відмічається значне збільшення обводненості листків, площі листової поверхні, маси кореневої системи, вологоутримуючої здатності ґрунту, його структурно-агрегатний стан та врожайності насіння.

Установлено, що за мікоризації кореневої системи сої грибами та симбіозу з бактеріями рівень обводненості листків через визначення їх сирої маси в усіх варіантах досліджу в різні терміни вегетації рослин був на 8,3–40,5 % більшим, ніж у контролі (рис. 1).

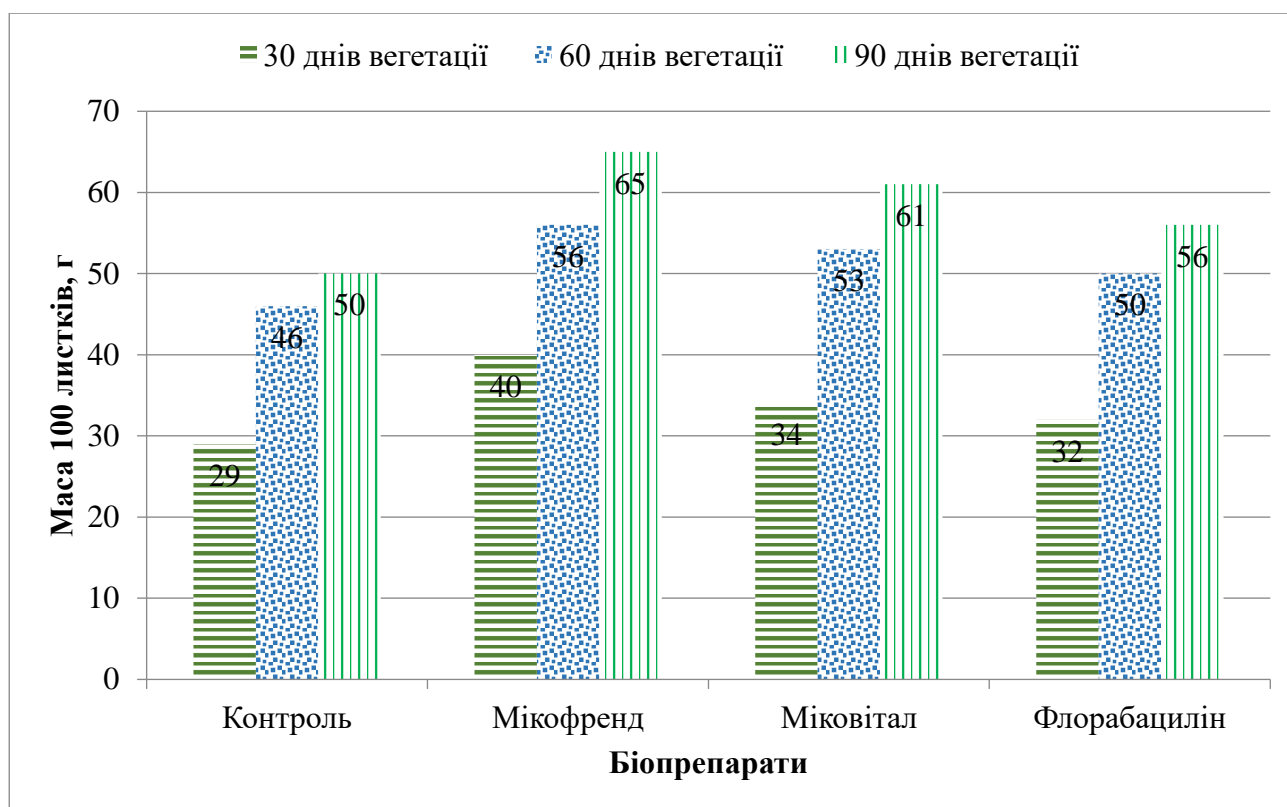


Рис. 1. Маса листків рослин сої культурної за симбіозу грибів і бактерій з її кореневою системою, ВПДСС, 2018–2020 рр.

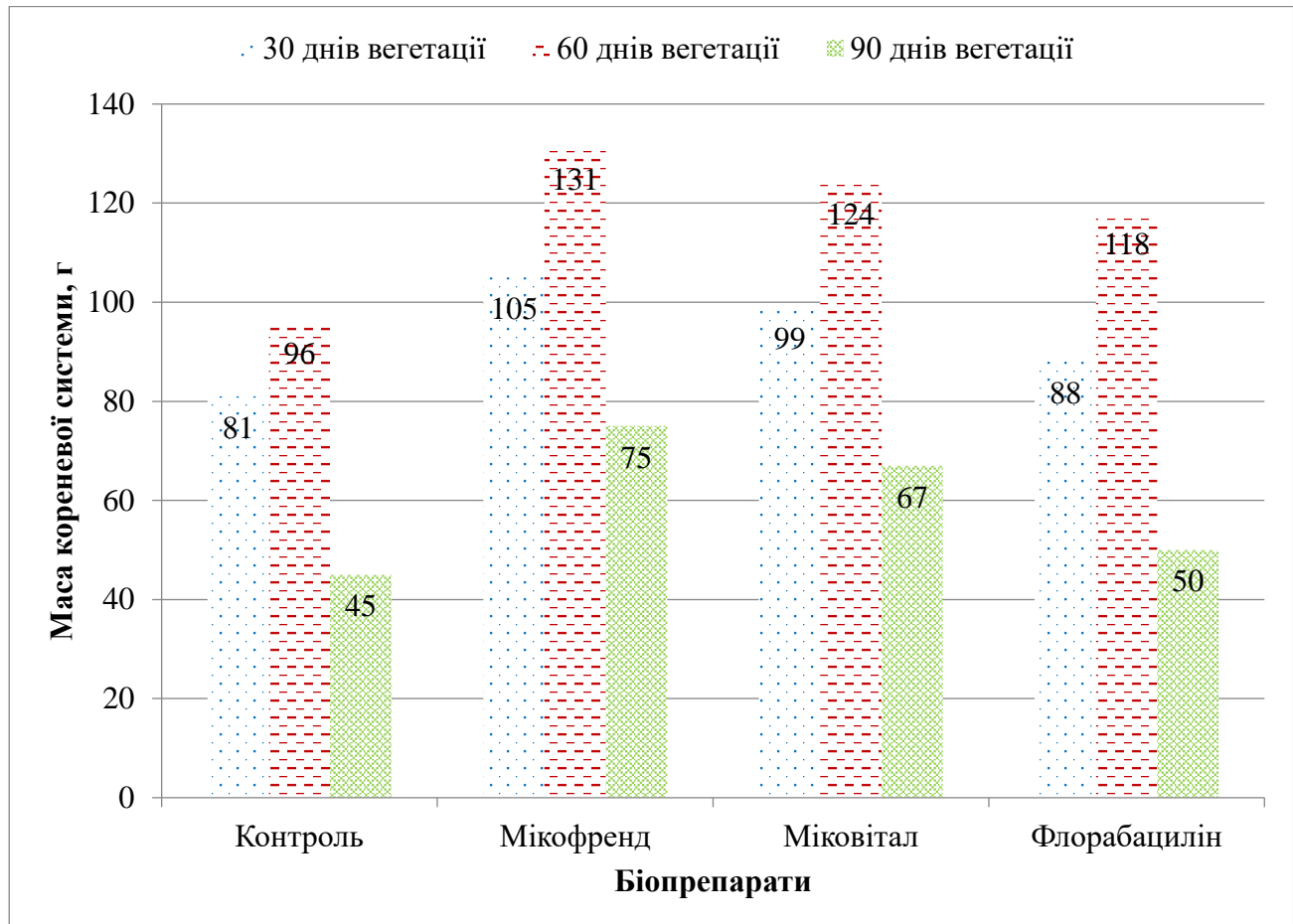
Особливо помітним був позитивний вплив грибів і бактерій на цей елемент у перший період вегетації рослин. Так, на 30-ту добу органогенезу різниця в показниках обводненості листків у дослідних варіантах і контролі становила 12,8–40,5 %, тоді як на 60-ту й 90-ту – 8,3–22,0 і 11,5–30,0 % відповідно.

Як відомо, гриби й бактерії розвиваються за позитивної температури у межах 15–25°C. Крім того, ці показники значною мірою залежали від виду мікроорганізму, тобто застосовуваного препарату. Так, найвищі показники обводненості листків отримано у варіанті з грибами *Glomus* VS і *Trichoderma harzianum* Rifai (біопрепарат Мікофренд), які переважали контроль у середньому за роки досліджень на 22,0–40,5 %. У варіантах із біопрепаратами Міковітал (гриб *Tuber melanosporum* Vittad.) і Флорабацилін (бактерії *Bacillus subtilis* Cohn.) підвищення обводненості листків порівняно з контролем у різні терміни органогенезу рослин становило 8,3–21,6 %.

Збільшення обводненості листків за симбіозу кореневої системи з грибами відбувається завдяки проникненню їх міцелію і гіфів у найтонші капіляри ґрунту і транспортуванні води в

рослину. Цей показник є важливим елементом росту й розвитку рослин, який характеризує рівень забезпеченості їх вологою, адже від нього залежить продуктивність фотосинтезу, а отже й продуктивність культури.

Щодо впливу мікоризації кореневої системи грибами та симбіозу з бактеріями на її масу проведеними дослідженнями підтверджується факт збільшення даного показника у всі терміни вегетації рослин цієї культури. Зокрема, на 30, 60 і 90 день органогенезу вона була на 9,3-65,8 % більшою за контроль (рис.2).



**Рис. 2.** Маса кореневої системи рослин сої культурної за її симбіозу з грибами і бактеріями, ВПДСС, 2018–2020 рр.

Найсуттєвіший вплив на збільшення маси коренів виявлено за використання препарату Мікофренд (гриби *Glomus VS* і *Trichoderma harzianum* Rifai), де її приріст проти контролю становив 31,4–65,8 %. Водночас у варіантах із препаратами Міковітал (гриб *Tuber melanosporum* Vittad.) і Флорабацилін (бактерії *Bacillus subtilis* Cohn.) маса кореневої системи рослин сої була більшою за контроль на 9,3–47,8 %, що менше, ніж у варіантах із препаратом Мікофренд.

Слід зазначити, що в перший період вегетації рослин сої – на 30–60-ту добу за мікоризації її кореневої системи різниця в масі коренів порівняно з контролем становила 9,3–38,3 %, тоді як на 90-ту добу органогенезу цей показник був більшим на 13,4–65,8 %.

Збільшення маси коренів за їх симбіозу з грибами відбувається завдяки наростанню міцелію і гіфів, а також формуванню везикул і арбускул. Щодо впливу бактерій на цей показник, то у варіантах із ними ріст і розвиток рослин сої поліпшується завдяки активізації життєвих процесів у їх клітинах під впливом цих мікроорганізмів, які стимулюють обмін речовин.

Крім маси кореневої системи сої за використання мікоризоутворювальних грибів і азотфіксувальних бактерій, також визначали вплив цього чинника на формування листкової поверхні рослин. Установлено, що мікоризоутворюючі гриби і азотфіксуючі бактерії проявляють істотний вплив на формування даного показника. Так, під впливом цих мікроорганізмів площа листкової поверхні рослин сої впродовж вегетації змінювалася від 49,3 до 64,4 тис. м<sup>2</sup>/га, або була більшою за контроль на 24,5–69,8 % (табл. 1).

**Таблиця 1.** Площа листкової поверхні рослин сої культурної за симбіозу грибів і бактерій з її кореневою системою, ВПДСС, 2018–2020 рр.

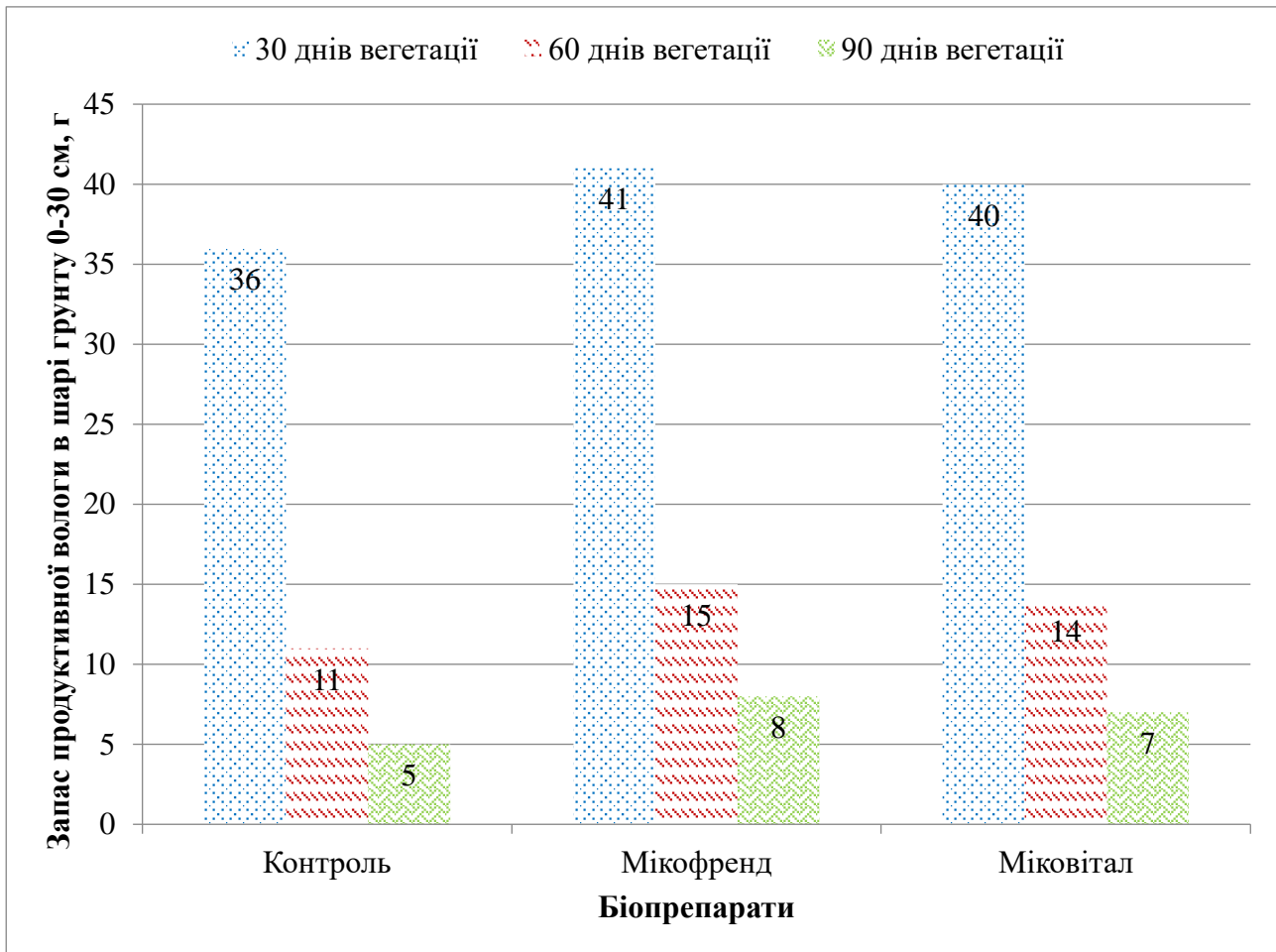
Дні вегетації ї	Площа листкової поверхні												
	контроль , тис. м <sup>2</sup> /га	мікофренд				флорабацилін				міковітал			
		тис. м <sup>2</sup> /г а	+- до контролю			тис. м <sup>2</sup> /г а	+- до контролю			тис. м <sup>2</sup> /г а	+- до контролю		
			тис. м <sup>2</sup> /г а	%	P-level		тис. м <sup>2</sup> /г а	%	P-level		тис. м <sup>2</sup> /г а	%	P-level
30	40,2	60,7	20,5	51,0	0,006	53,8	13,6	33,9	0,009	55,8	15,6	38,7	0,007
60	45,8	64,5	18,7	40,9	0,007	57,0	11,2	24,5	0,01	59,1	13,3	29,1	0,009
90	31,4	53,3	21,9	69,8	0,003	46,4	15,0	47,9	0,007	49,3	17,9	57,0	0,003
120	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Зокрема, на 30-ту добу вегетації рослин площа листкової поверхні у дослідних варіантах становила 53,8–60,7 тис. м<sup>2</sup>/га проти 40,2 тис. м<sup>2</sup>/га на контролі, тобто була більшою на 33,9–51,0 %. На 90-ту добу вегетації ці показники зростали до 46,4–53,3 тис. м<sup>2</sup>/га, що на 47,9–69,8 % перевищувало контроль (31,4 тис. м<sup>2</sup>/га). Таким чином, найбільшу різницю в показниках площі листкового апарату в дослідних варіантах проти контролю отримано на 90-ту добу органогенезу. Особливо помітний ефект у зростанні площі листкової поверхні відзначено за використання препарату Мікофренд для допосівного оброблення насіння цієї культури. Різниця в показниках площі листків у цьому варіанті та контролі становила 18,7–21,9 тис. м<sup>2</sup>/га, або 40,9–69,8 %.

У варіантах з іншими двома препаратами отримано дещо менше збільшення площі листків порівняно з біопрепаратом Мікофренд, але вона також помітна і досить вагома. Отже, мікоризація кореневої системи грибами та її симбіоз із бактеріями є потужним чинником впливу на формування площі листкової поверхні рослин сої у різні терміни її вегетації, та, зрештою, продуктивності культури.

Крім досліджень щодо впливу використання мікоризоутворюючих грибів на ріст та розвиток рослин сої культурної проводилось визначення вологоутримуючої здатності ґрунту та його структурно-агрегатного стану. Встановлено, що у варіантах з цими організмами вологоутримуюча здатність ґрунту була на 11,4–14,8 % більшою ніж у контролі (рис.3).





**Рис. 3.** Вологоутримуюча здатність ґрунту за симбіозу грибів з кореневою системою рослин сої, ВПДСС, 2018–2020 рр.

Найвищі показники вологоутримуючої здатності ґрунту отримано у варіантах із препаратом Мікофренд у початковий період вегетації рослин (на 30день) – 41г проти 36г у контролі, або на 11,4 %. У більш пізні терміни органогенезу (60 і 90днів) ці показники також були найвищими у варіантах з даним препаратом – відповідно 4,0 і 3,0 г, або 13,6 і 6,0 %. За використання препарату Міковітал вологоутримуюча здатність ґрунту була меншою ніж у варіантах з препаратом Мікофренд і становила відповідно за термінами органогенезу 4,0 г, 3,0 і 2,0 г або 11,7 % 12,7 % і 14,0 %.

Збільшення вологоутримуючої здатності ґрунту за використання мікоризо утворюючих грибів *Glomus VS*, *Trichoderma harzianum* і *Tuber melanosporum* відбувається за рахунок проникнення їх гіфів у найтонші пори землі і транспортування за їх допомогою води у верхні її шари.

Крім збільшення запасу продуктивної води ґрунту гриби сприяють покращенню його структурно-агрегатного стану. Частка грудочок розміром 0,25-10,0 мм у варіантах з цими мікроорганізмами була більшою за контроль на 0,9-5,2% (рис. 4).

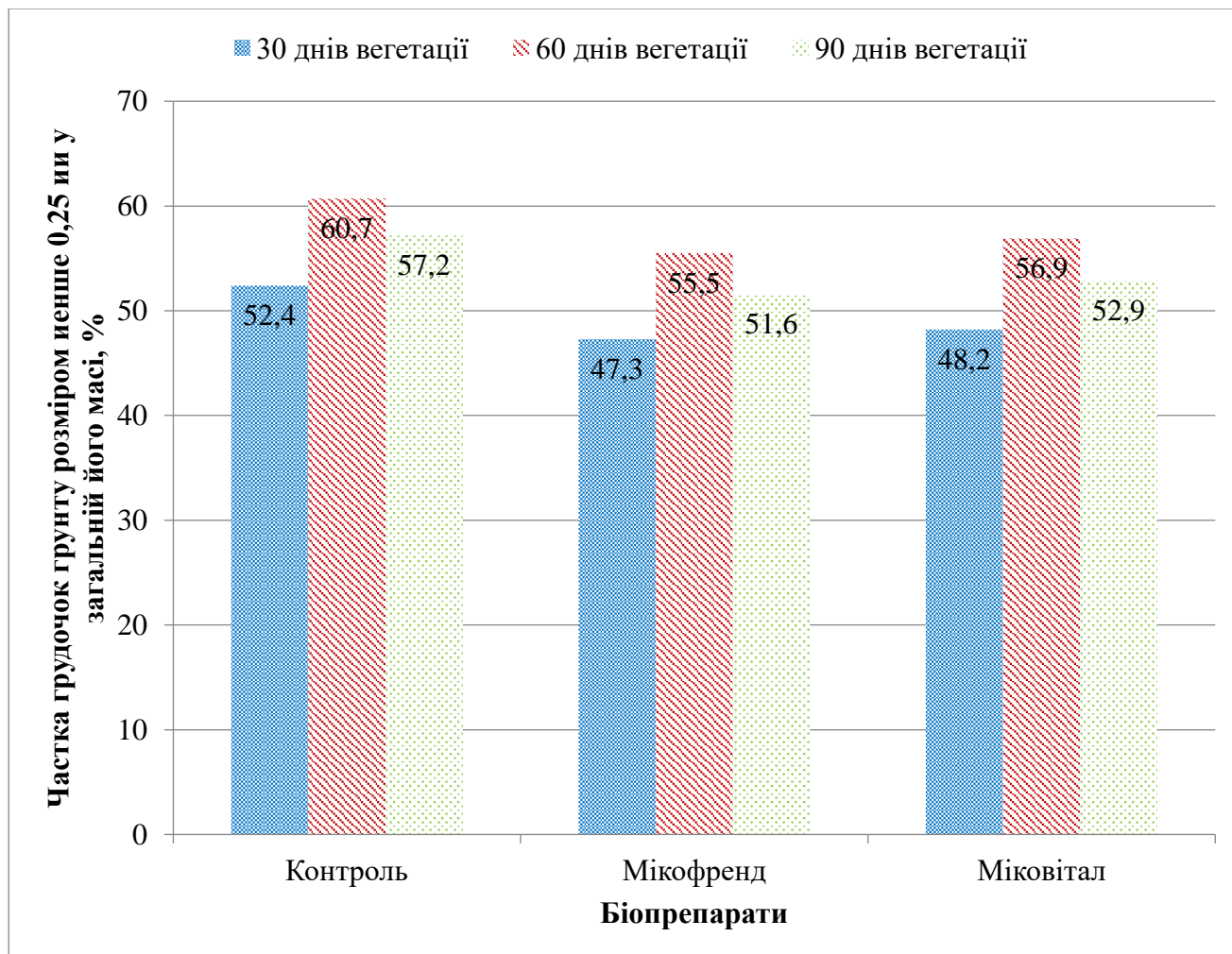
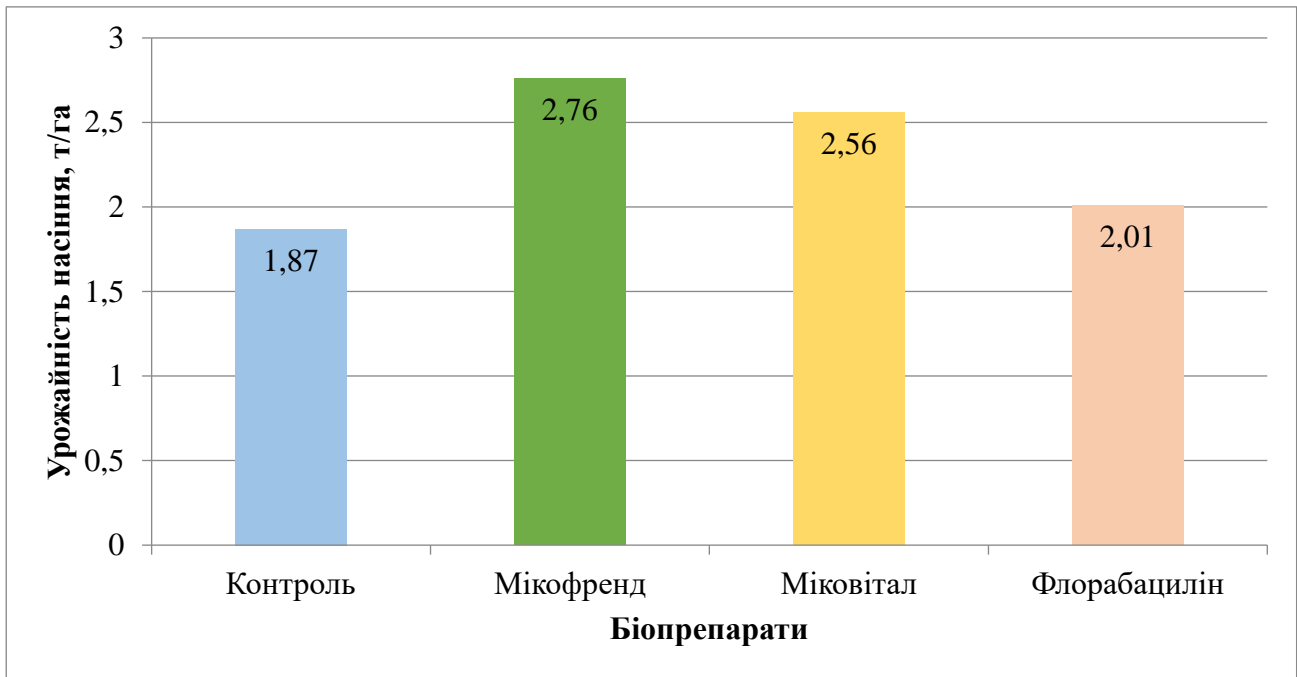


Рис. 4. Агрегатний стан ґрунту за симбіозу грибів з кореневою системою рослин сої, ВПДСС, 2018–2020 рр.

Ці показники свідчать про те, що симбіоз грибів з кореневою системою рослин сприяє покращенню структурно-агрегатного стану ґрунту, створення міцельної сітки і утворення ключового компонента глікопротеїну-гломатину, за рахунок якого склеює частину пилюватої фракції ґрунту.

Використання мікоризації кореневої системи грибами і її симбіозу з бактеріями сприяє підвищенню врожайності насіння сої завдяки позитивному впливу цих мікроорганізмів на ріст і розвиток рослин у різні періоди їх вегетації. За використання біопрепаратів істотно більшими порівняно з контролем були показники обводненості листків рослин цієї культури, маса кореневої системи, площа листової поверхні тощо, що в свою чергу позитивно позначалося на продуктивності культури. Зокрема, у варіантах із застосуванням біопрепаратів урожайність насіння сої була більшою за контроль на 0,14-0,89 т/га, або на 7,5-47,6 % (рис 5).



**Рис. 5.** Урожайність насіння сої залежно від використання біопрепаратів, ВПДСС, 2018–2020 рр.

Найбільша різниця у підвищенні продуктивності цієї культури проти контролю отримано у варіанті з біопрепаратом Мікофренд – 0,89 т/га, або на 47,6%, що свідчить про значний вплив грибів *Glomus VS* і *Trichoderma harzianum* на всі елементи росту та розвитку рослин сої.

У варіантах із застосуванням біопрепаратів Міковітал та Флорабацилін збільшення врожайності насіння порівняно з контролем становило 0,14-0,69 т/га, або на 7,5-36-9 %.

## 7. Перспективи подальшого розвитку досліджень

Подальший розвиток досліджень з даної теми спирається на всебічному поглибленому вивченню процесу формування продуктивності рослин за використання біопрепаратів. Дивлячись на отримані результати необхідно розширити ареал досліджень мікоризації кореневої системи рослин сої культурної грибами.

## 8. Висновки

1. Допосівне оброблення насіння сої біопрепаратами сприяє покращенню росту та розвитку рослин цієї культури у подальшому у досліджах щодо встановлення ефективності використання біопрепаратів для підвищення продуктивності сої та інших сільськогосподарських культур основна увага буде сконцентрована на застосуванні цього методу не тільки у Лівобережній частині Лісостепу України, а і в інших регіонах з метою визначення впливу на цей показник клімат цих умов різних зон, ґрунтів, забезпеченість рослин вологою тощо. Крім того, значне місце у дослідженнях буде приділятися розкриттю, окрім вже відомого, ролі арбускул та везикулів та інших складових симбіозу у забезпеченні рослин вологою і поживними речовинами під впливом грибів і бактерій.

2. У варіанті з грибами *Glomus VS*, *Trichoderma harzianum*, *Tuber melanosporum* збільшувалась вологоутримуюча здатність ґрунту на 11,4-14,8 % і зроста кількість грудочок розміром 0,25-10,0 мм. На 0,9-5,2 %. Порівняно з контролем.

3. Урожайність насіння сої завдяки позитивному впливу грибів і бактерій на ріст та розвиток рослин цієї культури була більшою за контроль на 0,14-0,89 т/га або на 7,5-47,6 %.

### Список літератури:

- 1) Khomenko, L., Datsko, T., & Kvasnytska, O. (2021). Role of Mycorrhizal Fungi and Nitrogen-Fixing Bacteria in Improving Soybean Productivity Under Water Deficit and Soil Aeration. *Journal of Plant Growth Regulation*, 40(3), 1229-1242. doi: 10.1007/s00344-020-10266-6
- 2) Smith, S. E., & Read, D. J. (2010). *Mycorrhizal Symbiosis* (3rd ed.). Academic Press.
- 3) Marschner, P. (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants* (3rd ed.). Academic Press.
- 4) Khan, A., Shair, F., Ahmed, S., Ahmed, S., Shah, M. K. N., & Khan, M. A. (2021). Sustainable Agriculture: A Potential Solution for Soil Health and Food Security. *Sustainability*, 13(9), 4938. doi: 10.3390/su13094938
- 5) Shi, X., Zhang, J., Mao, X., Wang, W., & Xie, D. (2013). Effects of Soil Water Deficit on the Physiological Characteristics and Dry Matter Accumulation of Soybean Seedlings. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35(2), 557-567. doi: 10.1007/s11738-012-1098-2
- 6) Tóth, B., Kismányoky, T., Kocsis, M., & Németh, T. (2016). The Role of Soil Moisture in Plant Production: The Analysis of Spatial and Temporal Aspects of Soil Moisture. *Journal of Environmental Geography*, 9(3-4), 33-41. doi: 10.1515/jengeo-2016-0003
- 7) Flexas, J., Carriquí, M., Coopman, R. E., Gago, J., Galmés, J., Martorell, S., & Morales, F. (2016). Stomatal and Mesophyll Conductances to CO<sub>2</sub> in Different Plant Groups: Underrated Factors for Predicting Leaf Photosynthesis Responses to Climate Change? *Plant Science*, 253, 97-111. doi: 10.1016/j.plantsci.2016.07.008
- 8) Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of Salinity Tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651-681. doi: 10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911
- 9) Li, Y., Cai, W., Liu, W., Zhang, Y., Wang, B., & Jiang, D. (2019). Photosynthesis of Water-Stressed Rice Plants: A Comparison between IR72 (*Oryza sativa* L.) and Its Mutant with Stomatal Density Reduced by RNA Interference. *PLOS ONE*, 14(10), e0224017. doi: 10.1371/journal.pone.0224017
- 10) Parniske, M. (2008). Arbuscular Mycorrhiza: The Mother of Plant Root Endosymbioses. *Nature Reviews Microbiology*, 6(10), 763-775. doi: 10.1038/nrmicro1987
- 11) Garcia, K., Doidy, J., Zimmermann, S. D., Wipf, D., & Courty, P. E. (2015). Take a Trip Through the Plant and Fungal Transportome of Mycorrhiza. *Trends in Plant Science*, 20(2), 144-151. doi: 10.1016/j.tplants.2014.10.011
- 12) Vandamme, E., Davey, T., & De Meyer, S. E. (2016). The use of nitrogen-fixing bacteria to increase the availability of nitrogen to plants. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 13(10), 2251-2264. <https://doi.org/10.1007/s13762-016-1092-6>
- 13) Wang, L., Li, Y., Li, X., Xiang, D., & Li, X. (2021). Effect of mycorrhizal fungi and bacterial fertilizers on soybean yield and quality. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21(1), 76-89. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00263-8>
- 14) Datsko, L., Prymak, I., Ostapchuk, A., Ostapchuk, T., & Kolupaev, Y. (2020). Impact of endophytic bacteria on the productivity of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) plants. *Ukrainian Journal of Ecology*, 10(2), 34-39. [https://doi.org/10.15421/2020\\_30](https://doi.org/10.15421/2020_30)
- 15) Gao, H., Wang, Y., Yang, Z., Lv, Y., & Zhang, Y. (2018). Inoculation with *Bacillus amyloliquefaciens* improves growth and water use efficiency in soybean under water stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 37(1), 193-201. <https://doi.org/10.1007/s00344-017-9707-6>
- 16) Singh, R. P., Jha, P. N., & Kumar, A. (2020). Role of plant growth-promoting rhizobacteria in improving the growth, yield, and nutrient uptake of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) under rainfed conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 43(2), 175-190. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1654021>
- 17) Shukla, S., Garg, A., Bhadauria, R., & Singh, P. (2019). Impact of biofertilizers on growth, productivity and quality of soybean (*Glycine max*). *Legume Research*, 42(4), 479-484. <https://doi.org/10.18805/lr.v42i4.9939>

- 18) Zhang, H., Li, L., Sun, Y., Liu, H., Guo, L., & Jiang, X. (2020). Effects of different biofertilizer treatments on soybean yield and soil fertility. *Journal of Plant Nutrition*, 43(5), 599-611. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1734791>
- 19) Anees, M., Shahzad, S. M., Imran, A., Ali, S., & Hussain, S. (2019). Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) improve growth, nodulation, nitrogen fixation and yield of soybean under humid subtropical conditions. *Plant Physiology and Biochemistry*, 135, 259-267. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.12.004>
- 20) Bayoumi, Y. A., El-Khawas, S. A., El-Sayed, M. A., & El-Shahawy, T. A. (2021). Effect of mycorrhizal fungi and nitrogen fixing bacteria on growth and nutrient uptake of soybean plants under sandy soil conditions. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(2), 1176-1185. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.12.005>
- 21) Du, J., Li, S., Chen, X., Wang, B., & Zhang, F. (2020). Arbuscular mycorrhizal fungi alleviate the adverse effects of low nitrogen supply on soybean plants. *Frontiers in Plant Science*, 11, 1516. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01516>
- 22) Gao, K., Li, X., Li, H., & Wu, G. (2018). Effect of endophytic bacteria inoculation on soybean growth and development under saline stress. *PeerJ*, 6, e5788. <https://doi.org/10.7717/peerj.5788>
- 23) Hossain, M. T., Kumar, A., & Mondal, M. K. (2020). Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in soybean production: A review. *Agricultural Research & Technology: Open Access Journal*, 22(3), 555900. <https://doi.org/10.19080/ARTOAJ.2020.22.555900>
- 24) Odeyemi, O. A., Adeniyi, O. O., & Salami, A. O. (2020). Improvement of soybean (*Glycine max* L.) growth and yield using plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in sandy loam soil. *African Journal of Agricultural Research*, 15(11), 2229-2235. <https://doi.org/10.5897/AJAR2020.14763>
- 25) Olanrewaju, O. S., Adebuseye, S. A., Babalola, O. O., & Sanni, A. I. (2018). Inoculation with endophytic bacteria improves soybean growth and development on acidic soil. *Agriculture and Natural Resources*, 52(4), 266-273. <https://doi.org/10.1016/j.anres.2018.10.005>
- 26) Olatunji, O. A., Afolayan, A. J., & Udo, I. E. (2019). Microbial inoculants as a sustainable approach to enhance the growth and yield of soybean under abiotic stress conditions. *Journal of Applied Microbiology*, 127(3), 722-732. <https://doi.org/10.1111/jam.14350>
- 27) Rivas, R., Velázquez, E., Zurdo-Piñeiro, J. L., Mateos, P. F., García-Fraile, P., Martínez-Molina, E., & Peix, A. (2016). Complete genome sequence of the model strain *Sinorhizobium fredii* HH103. *Journal of Biotechnology*, 235, 61-68.
- 28) Saglam, A., Unal, B., Erdogan, U., & Kahraman, A. (2020). The effect of plant growth promoting rhizobacteria on yield and some yield components of soybean. *Journal of Plant Nutrition*, 43(2), 207-216.
- 29) Sayar, M. S., Shahid, M., Ali, M. A., Saleem, M. F., Yasmeen, S., & Rashid, A. (2019). Effect of soilless culture on growth and yield of soybean. *Journal of Plant Nutrition*, 42(8), 929-936.
- 30) Soedarsono, J. W., Yusnawan, E., & Nuringtyas, T. R. (2020). Plant growth-promoting bacteria improve soybean (*Glycine max* L. Merrill) yield in field trials. *Journal of Agricultural Science*, 12(3), 222-230.
- 31) Siqueira, J. O., de Oliveira, J. A., Alves, J. D., da Costa, R. C. L., & da Silva, F. A. C. (2019). Inoculation with rhizobia and plant growth-promoting bacteria increases the tolerance of soybean to high temperature. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 91(1), e20180338.
- 32) Du, N., Sun, J., Li, X., Gao, X., Sun, Y., Liu, J., & Wang, H. (2020). Growth and yield of soybean with arbuscular mycorrhizal fungi inoculation under different fertilization treatments. *PLoS One*, 15(3), e0230437.
- 33) Sutanto, A., Hermanto, C., Kuswanto, K., Niswati, A., & Purnamaningsih, R.W. (2021). Effect of garlic extract on yield and seed quality of soybean (*Glycine max* L. Merr.). *Agronomy*, 11(1), 50. <https://doi.org/10.3390/agronomy11010050>

34) Zahran, H.H., & El-Khawas, S.A. (2015). Enhancing growth and yield of soybean (*Glycine max* L.) using plant growth promoting rhizobacteria under salinity stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 34, 839-850. <https://doi.org/10.1007/s00344-015-9521-7>

35) Романенко, С. М. (2015). Актуальні питання забезпечення екологічної безпеки сільськогосподарської продукції та реалізації законодавства про органічне виробництво. Органічне виробництво і продовольча безпека: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (м. Житомир, 23 квітня 2015 р.). Житомир: Полісся, 186–194.

36) Головина, Е. В., Зайцев, В. Н. (2016). Влияние погодных условий на водный режим, пигментный комплекс и продуктивность сои. *Зернобобовые и крупяные культуры*, 2, 111–116.

37) Дидович, С. В., Зотов, В. С., Турина, Е. Л., Кулинич, Р. А., Дидович, А. Н. (2015). Эффективность агроценозов бобовых культур. *Сборник научных трудов SWorld*, 1 (38), 22–25.

38) Коваленко, А. М., Коваленко, О. А., Пілярський, В. (2020). Урожайність культур короткоротаційної сівозміни за умов застосування мікробних препаратів у Південному Степу. *Аграрні інновації*, 1, 52–56. doi: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2020.1.8>

39) Gupta, M. M., Abbott, L. K. (2021). Exploring economic assessment of the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Symbiosis*, 83 (2), 143–152. doi: <https://doi.org/10.1007/s13199-020-00738-0>

40) Ковалевський, С. Б., Кривохатько, Г. А. (2018). Посухостійкість та водоутримувальна здатність рослин *Thuja occidentalis* L. та її культиварів. *Науковий вісник НЛТУ України*, 28 (2), 77–80. doi: <https://doi.org/10.15421/40280214>

41) Розумова, С. Г. (2013). Екологія рослин з основами ботаніки та фізіології: Конспект лекцій. Одеса, 119.

42) Скляр В. Г.; Злобін Ю. А. (ред.). (2015). Екологічна фізіологія рослин: підручник. Суми: Університетська книга, 271.

43) Камінський, В. Ф., Гангур, В. В. (2018). Динаміка продуктивності вологи в ґрунті за вирощування пшениці озимої в сівозмінах Лівобережного Лісостепу України. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*, 3, 11–14. doi: <https://doi.org/10.31210/visnyk2018.03.01>

44) Присяжнюк, О. І., Коровко, І. І. (2015). Динаміка вмісту хлорофілів у листках цукрових буряків. *Новітні агротехнології*, 3. doi: [https://doi.org/10.21498/na.1\(3\).2015.118908](https://doi.org/10.21498/na.1(3).2015.118908)

45) Колесніченко, О. В. (2015). Анато́мо-морфологічна будова листків *Castanea sativa* Mill. як фактор стабілізації водного режиму рослин в умовах посухи. *Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України*, 5. Available at: [https://nd.nubip.edu.ua/2015\\_5/31.pdf](https://nd.nubip.edu.ua/2015_5/31.pdf)

46) Хоменко, Т., Дацько, А., Квасніцька, Л. (2019). Вплив обробки насіння комплексним мікоризотвірним препаратом Мікофренд на продуктивність сої в умовах Правобережного Лісостепу України. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*, 24, 260–267.

47) Доспехов, Б. А. (1985). *Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследования)* (5-е изд., доп. и перераб.). Москва: Колос, 351.

48) Крузер, В. (2020). Математичне моделювання в біології. Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція молодих вчених і здобувачів вищої освіти «Інноваційний потенціал сучасної науки» (м. Кам'янець-Подільський, 19 червня 2020 р.). Кам'янець-Подільський, 240–243.

49) Petiole LTD. (2019). *Petiole – Petiole Leaf Area Meter* (Версія 2.0.1) [Мобильное прикладное программное обеспечение]. Available at: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.petioleapp.petiole>

50) Красноштан, І. В., Скоморох, І. М. (2015). Загальна обводненість, водний дефіцит, водоутримувальна здатність листків плодкових культур при кореневій гіпоксії. *Природничі*

науки в системі освіти: матеріали Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції (м. Умань, 26 березня 2015 р.). Умань: ФОП ЖОВТИЙ О. О., 28–30.

51) Ничипорович, А. А., Куперман, Ф. М. (1966). Фотосинтез и вопросы повышения урожайности растений. Вестник сельскохозяйственной науки, 2, 1–12.

52) Wang, X. X., van der Werf, W., Yu, Y., Hoffland, E., Feng, G., Kuiper, T. W. (2020). Field performance of different maize varieties in growth cores at natural and reduced mycorrhizal colonization: yield gains and possible fertilizer savings in relation to phosphorus application. *Plant and Soil*, 450 (1–2), 613–624. doi: <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04524-1>

53) Moyano, J., Dickie, I. A., Rodriguez-Cabal, M. A., Nuñez, M. A. (2020). Patterns of plant naturalization show that facultative mycorrhizal plants are more likely to succeed outside their native Eurasian ranges. *Ecography*, 43 (5), 648–659. doi: <https://doi.org/10.1111/ecog.04877>

---

## Effectiveness of seed treatment with biopreparations for increasing soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) productivity

**Serhii Dymyrov**

Ukrainian institute for plant variety examination, Kyiv, Ukraine

ORCID 0000-0002-0377-9596

**Vasyl Sabluk**

Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beets, Kyiv, Ukraine

ORCID 0000-0002-6124-4346

---

**Abstract: Purpose.** Determination of the effectiveness of soybean seed treatment with bio preparations in increasing crop productivity. **Methods.** Field, laboratory and statistical. **Results.** Application of mycorrhiza-forming fungi and nitrogen-fixing bacteria was found positive for plant growth and development and the formation of soybean seed yield. In particular, in the treatments with fungi *Glomus* VS and *Trichoderma harzianum* Rifai. (Mycofriend), *Tuber melanosporum* Vittad. (Mycovital) and bacteria *Bacillus subtilis* Cohn. (Florobacillin), on the 30<sup>th</sup>, 60<sup>th</sup> and 90<sup>th</sup> days of vegetation, leaf area was 24.4–69.8% higher compared to the control. Similarly, leaf mass and root mass were higher by 8.4–40.4 % and 8.6–68.0%, respectively, compared to the control. In addition, in the treatments with mycorrhiza-forming fungi, soil moisture retaining capacity increased by 8.5–77.8%, and the proportion of soil lumps <0.25 mm increased by 2.5–5.6 % compared to control. The yield of soybean seeds in the treatments with mycorrhiza-forming fungi also was higher by 0.41–0.70 t/ha compared to the control. In particular, in the treatments with mycorrhiza-forming fungi, an increase in leaf area amounted to 7.2–100.2% compared to the control, while in the treatments with other bio preparations (Mycovital and Florobacillin), these indicators were by 2.9–70.5% (i.e., 4.3–29.7 %) lower. In a similar way, there was a difference between other indicators of the treatments with Mycovital and Florobacillin, such as root mass, plant height, photosynthetic potential, photosynthetic productivity, etc. **Conclusions.** Seed treatment with mycorrhiza-forming fungi *Glomus* VS and *Trichoderma harzianum* Rifai. (bio preparation Mycofriend) and *Tuber melanosporum* Vittad. (bio preparation Mycovital), as well as nitrogen-fixing bacteria *Bacillus subtilis* Cohn. (bio preparation Florobacillin) improves plant growth and development and increases crop productivity of soybean.

**Keywords:** fungi, bacteria, leaf mass, moisture-retaining capacity, the aggregate composition of the soil.

---