

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

Кваліфікаційна наукова праця  
на правах рукопису

**ТРИУС ВЯЧЕСЛАВ ОЛЕГОВИЧ**

УДК 633.34:631.524.84:631.5(477.5)

**ДИСЕРТАЦІЯ  
РОЗРОБКА БІОАДАПТИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ СОЇ В  
УМОВАХ ПІВНІЧНО-СХІДНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ**

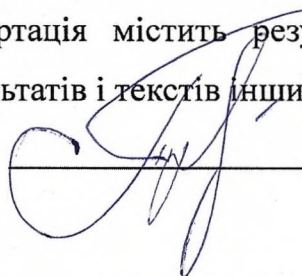
201 Агрономія

20 Аграрні науки та продовольство

Подається на здобуття наукового ступеня

доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

  
/В.О. Триус/

Науковий керівник: Бутенко Андрій Олександрович,  
кандидат сільськогосподарських наук, доцент

**СУМИ-2026**

## АНОТАЦІЯ

Триус В.О. Розробка біоадаптивної технології вирощування сої в умовах Північно-Східного Лісостепу України – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 201 Агронімія. – Сумський національний аграрний університет. Суми, 2026.

Вирощування сої має величезне значення для забезпечення продовольчої безпеки та здорового харчування людей в Україні та світі. Зерно цієї культури є найважливішим джерелом рослинного білка, який за своїм амінокислотним складом майже не поступається білкам тваринного походження, а також містить вітаміни групи В, Е та незамінні мінерали, такі як калій, кальцій та фосфор. Окрім харчової цінності, соя є ключовою культурою для сталого землеробства, оскільки завдяки симбіозу з бульбочковими бактеріями вона здатна фіксувати атмосферний азот, збагачуючи ним ґрунт для наступних культур у сівозміні. Одним із ключових факторів, що відіграє вирішальну роль під час вирощування сої, є адаптивність технології до конкретних ґрунтово-кліматичних умов.

Біоадаптивні технології вирощування сої дають змогу отримувати стабільні врожаї навіть за умов посилення гідротермічного стресу. Вони характеризуються використанням біологічного потенціалу рослин та мікроорганізмів, що дозволяє забезпечити більш прогнозований розвиток агрофітоценозу. Ці технології стають дедалі популярнішими серед фермерів Північно-Східного Лісостепу України, оскільки дозволяють зменшити витрати на мінеральні азотні добрива та підвищити стійкість посівів до несприятливих погодних чинників.

З іншого боку, традиційні інтенсивні методи вирощування сої не завжди забезпечують бажаний результат в умовах глобальних змін клімату. Біоадаптивний підхід забезпечує довший термін активного функціонування

фотосинтетичного апарату та має здатність підтримувати формування врожаю під час посушливих періодів вегетації. Це особливо корисно в умовах Північно-Східного регіону, де нерівномірність опадів може значно вплинути на стабільність та рівень врожайності. Використання сучасних інокулянтів та гумінових стимуляторів забезпечує більш гнучке вирощування сої, особливо для великих агрохолдингів та фермерських господарств, що прагнуть до екологізації виробництва.

Вибір оптимального складу інокулянтів та схем позакореневого підживлення сої відіграє ключову роль у досягненні високих врожаїв і забезпеченні успішного вирощування цієї цінної бобової культури. Визначення доцільної схеми живлення залежить від погодно-кліматичних умов та регіональних особливостей Лісостепу. Соя є культурою, яка потребує значної кількості вологи під час цвітіння та наливу бобів, тому біоадаптивна технологія спрямована на максимальне збереження вологи в рослинах та активізацію симбіотичного апарату в ранньовесняний період.

Щодо способів застосування біопрепаратів, важливо враховувати тип ґрунту та його мікробіологічну активність. Оптимальним способом обробки вважається передпосівна інокуляція насіння. Проте, також у технології вирощування практикують застосування стимуляторів росту у фазі бутонізації та початку наливу насіння. За таких умов збільшується площа живлення культури через розвиток потужної кореневої системи та підвищується активність фотосинтезу, що, в свою чергу, може позитивно вплинути на урожайність та економічну ефективність вирощування в умовах Північно-Східного Лісостепу України.

Удобрення сої біопрепаратами та мікродобривами відіграє важливу роль у забезпеченні активного росту та розвитку рослин, а також формування високого врожаю. Соя, як і багато інших культур, потребує необхідної кількості поживних речовин, але її особливість полягає в тому, що левову частку азоту вона має отримувати природним шляхом.

Одним із ключових мінеральних елементів, необхідних для ефективного симбіозу, є молібден та бор, які сприяють формуванню бульбочок. Азот, отриманий в результаті діяльності бактерій, сприяє формуванню листя та стебел, а також суттєво підвищує урожайність. Фосфор необхідний для здорового розвитку коренів і формування квітів, що є передумовою для утворення повноцінних бобів. Калій також грає важливу роль у регулюванні водного балансу рослин сої та підвищенні їхньої стійкості до теплового стресу.

Обираючи оптимальну схему біоадаптивної технології для сої, важливо враховувати не лише потреби рослин у конкретних поживних речовинах, але й характеристики ґрунту, такі як його рН, вміст гумусу та рухомих форм фосфору. Вдало підібрані біопрепарати сприяють не лише врожайності, але й забезпечують оптимальне використання природних ресурсів та збереження навколишнього середовища. Вони дозволяють рівномірно й ефективно забезпечити рослини необхідними поживними речовинами протягом усієї вегетації, що впливає на якість та кількість врожаю, а також на загальний стан агроєкосистеми.

Сукупно, всі вищенаведені фактори – від інокуляції до позакореневого підживлення – відіграють важливу роль у формуванні врожаю культури. Тому питання вибору оптимальних біоадаптивних агроприйомів вирощування сої є надзвичайно актуальними для Північно-Східного Лісостепу України.

Для визначення оптимальних умов вирощування сої було проведено дослідження в умовах Інституту сільського господарства Північного Сходу Національної академії аграрних наук протягом 2023–2025 років. Ґрунт, на якому був закладений дослід – чорнозем вилугуваний, малогумусний, середньосуглинковий на лесі. Дослід був багатофакторним. Зокрема, одним з факторів були різні варіанти передпосівної інокуляції насіння (використовувався препарат Ризогумін та інші штами). Наступним чинником, що вивчався, були строки та дози позакореневого підживлення гуміновими стимуляторами. Третім фактором виступали різні рівні мінерального фону.

Впродовж останніх років в умовах Північно-східного Лісостепу майже не вивчалися питання поєднання новітніх мікробіологічних препаратів із системами стимуляції імунітету рослин, тому цей напрям став головним у наших дослідженнях.

У дослідженні було проаналізовано схожість насіння та виживання рослин сої за різних умов інокуляції. Результати показали, що варіанти з обробкою насіння Ризогуміном мали вищі показники польової схожості. Однак, рослини сої на біоадаптивному фоні показали кращу толерантність до умов навколишнього середовища, маючи на 4–5% вищу виживаність порівняно з контролем. Дослідження також підкреслило важливість температурного режиму під час сівби, оскільки активність бактерій безпосередньо залежить від прогрівання ґрунту.

Було описано формування врожайності сої залежно від елементів біоадаптивної технології. У ході експериментів середня врожайність варіювала від 2,8 т/га до 3,6 т/га. Максимальну врожайність отримали за комплексного застосування інокуляції та дворазового позакореневого підживлення стимуляторами. Ранні етапи росту були вирішальними для формування густоти стояння, особливо для варіантів, де використовувалися гумінові препарати, що забезпечило приріст врожайності на рівні 0,5–0,8 т/га порівняно з базовою технологією.

У дослідженні провели аналіз та встановили показники інтенсивності азотфіксації. Результати показали, що соя мала вищі показники кількості бульбочок на коренях при застосуванні комплексного захисту та стимуляції. Вага сухої речовини рослин сої була значно вищою у варіантах із біоадаптивним підходом, а співвідношення зерна до загальної біомаси становило 35–40%, що свідчить про ефективний перерозподіл пластичних речовин.

Для сої маса 1000 зерен була вищою при використанні біопрепаратів і становила від 160 г до 185 г, тоді як на контролі вага зерна знижувалась через дефіцит азоту в період наливу. Показники якості зерна залежали від

інтенсивності симбіозу, які характеризувались високою вирівняністю та вмістом білка (38–42%). Сорт Сіверка мав вищі показники якості зерна за використання біопрепаратів, але був більш залежним від вчасного підживлення.

Сорти сої для масового виробництва вимагають стійкості до осипання бобів та гармонійного процесу дозрівання. Досліджувана технологія дозволила досягти дружнього дозрівання посівів, що полегшило механізоване збирання. Індекс вилягання рослин був мінімальним завдяки зміцненню стебла під впливом калійвмісних мікродобрив у системі біоадаптивного підживлення.

Проводили аналіз показників якості зерна сої за різних варіантів удобрення. Показники якості були найвищими при поєднанні інокуляції та гумінових препаратів: вміст сирого протеїну зріс на 3,5%, а вміст олії стабілізувався на рівні 21–22%. Якість знижувалася за відсутності інокуляції, що підтвердило ключову роль біологічного азоту. Генотип відігравав значну роль у накопиченні білка, тоді як біоадаптивна технологія дозволила згладити негативний вплив погодних умов на ці показники.

У дослідженні було вивчено реакцію сої на декілька варіантів мікробіологічного удобрення. Сорт показав найвищу врожайність у сприятливій за зволоженням роки, досягнувши 3,8 т/га при внесенні комплексних біостимуляторів. Незважаючи на екстремальні погодні умови окремих років, врожайність на біоадаптивному фоні не падала нижче критичних позначок, що підкреслює стабілізуючу роль розробленої технології.

Натура зерна сої збільшилася залежно від системи живлення. Максимальна маса зерна з рослини спостерігалася у варіантах із дворазовим підживленням. У середньому за роки досліджень маса 1000 насінин збільшилася на 10–15 г. Застосування різних варіантів біоадаптивного захисту позитивно вплинуло на кількісні показники врожайності, значно перевищуючи контрольні варіанти.

Було вивчено вплив варіантів удобрення на площу листкової поверхні. Найвищі показники фотосинтетичного потенціалу були досягнуті при внесенні розрахованої дози біопрепаратів у фазу цвітіння. Це забезпечило кращий налив зерна та вищу масу врожаю з одиниці площі.

Встановлено вплив біологізації на морфологічні характеристики: висоту рослин, кількість бобів та масу насіння з однієї рослини. Найвищі рослини та найбільша кількість продуктивних вузлів спостерігалися при застосуванні Ризогуміну. Вегетативна маса перед збиранням була оптимальною, що забезпечило високий індекс врожаю.

Для кожного елементу технології було встановлено економічну доцільність. Загальні витрати зростають з використанням додаткових препаратів, проте врожайність та якість зерна компенсують ці витрати. Найвищий прибуток було отримано у варіанті з повною біоадаптивною схемою (15897 грн./га), де рентабельність склала 68%. Найнижча ефективність спостерігалася на варіантах із високими дозами мінерального азоту, де витрати перевищували прибуток від додаткового врожаю.

Отримані результати свідчать про те, що розробка біоадаптивної технології є найбільш прибутковим та екологічно виправданим шляхом вирощування сої в умовах Північно-Східного Лісостепу України. Сівка має вищий потенціал прибутковості при використанні біопрепаратів. Вибір оптимального варіанту вирощування сої дозволяє досягти високої конкурентоспроможності продукції на ринку.

**Ключові слова:** *Соя, урожайність, інокуляція, сорт, Ризогумін, гумінові препарати, азотфіксація, продуктивність, якість зерна, маса 1000 насінин, протеїн, елементи технології, посів, економічна ефективність, рентабельність.*

## ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Статті у міжнародних наукометричних базах Web of Science/Scopus

1. **Tryus V.**, Butenko A.O., Hotvianska A., Nozdrina N., Datsko O., Pylypenko V., Lemishko S., Solohub I., Horbas S. & Stavvytskyi A. (2026). The influence of risogumin on soybean yield components and resistance to abiotic stress. *Journal of Ecological Engineering*, 27(2). <https://doi.org/10.12911/22998993/211611> Scopus Q2.

### Статті в наукових фахових виданнях України

1. **Триус В.О.**, Готвянська А.С., Горщар В.І., Бордун Р.М. Ефективність застосування мікробних препаратів та фізіологічно-активних речовин на показники продуктивності сої в умовах Північно-Східного Лісостепу України. *Таврійський науковий вісник. Землеробство, рослинництво, овочівництво та багтанництво*. 2024. № 136. Частина 2, с. 181-188. [doi.org/10.32782/2226-0099.2024.136.2.22](https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.136.2.22)

2. Триус В.О. Агроекономічні перспективи вирощування сої в Україні. *Меліорація, землеробство, рослинництво. Зрошуване землеробство*. Збірник наукових праць. Випуск 83. 2025. С. 47-52. <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2025.83.6>

3. **V.O. Tryus**, T.O. Onychko. The influence of growth-stimulating substances on the growth and productivity of soybeans. *Агронаука і практика*, 2025, 4(4), с. 34-38. [https://doi.org/10.32636/agroscience.2025-\(4\)-4-5](https://doi.org/10.32636/agroscience.2025-(4)-4-5)

4. **В. О. Триус**, А. О. Бутенко, А. С. Готвянська, І. М. Сологуб. Продуктивність сої під впливом удобрювальних продуктів в умовах Північно-Східного Лісостепу України. *Український журнал природничих наук*. 2026. № 15, с. 215-223. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.15.2026.21>

5. **Триус В.О.**, Мурач О.М. Ефективність біодобрив у стимулюванні формування симбіотичного апарату сої. *Таврійський науковий вісник. Землеробство, рослинництво, овочівництво та багтанництво*. 2026. № 146. с. 72-82. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.146.2.10>

### Тези наукових доповідей

1. Бутенко **А.О.**, Триус **В.О.** Основні принципи біоадаптивних технологій вирощування сої. The 11th International scientific and practical conference “Problems of the development of science and the view of society” (March 21–24, 2023) Graz, Austria. International Science Group. 2023. 19-22. DOI – 10.46299/ISG.2023.1.11

2. Бутенко **А.О.**, Триус **В.О.** Вплив системи удобрення на продуктивність сої в умовах Північно-східного лісостепу України. Scientific review of the actual events, achievements and problems: collection of scientific papers «SCIENTIA» with Proceedings of the I International Scientific and Theoretical Conference, December 1, 2023. Berlin, Federal Republic of Germany: International Center of Scientific Research. pp. 133-135. ISBN 979-8-88955-763-0 (series) DOI 10.36074/scientia-01.12.2023.

3. Крючко **Л.В.**, Триус **В.О.**, Колодій **В.М.**, Йосипенко **Б.М.** Вплив біопрепаратів на показники продуктивності сої. Interdisciplinary research: scientific horizons and perspectives: collection of scientific papers «SCIENTIA» with Proceedings of the V International Scientific and Theoretical Conference, May 10, 2024. Stockholm, Kingdom of Sweden: International Center of Scientific Research, pp. 74-77. DOI 10.36074/scientia-10.05.2024

4. Бутенко **Є.Ю.**, Триус **В.О.**, Зубко **О.М.** Ефективність стимулятора росту рослин з антистресовою дією та біодобрива при вирощуванні сої. Наукові основи адаптивного землеробства: матеріали міжнародної науково-практичної конференції з нагоди 100-річчя від дня народження доктора сільськогосподарських наук, професора, академіка Федора Трохимовича Моргуна, 90-річчя агрономічного факультету Дніпровського державного аграрно-економічного університету та міжнародного дня здоров'я рослин (16-17 травня 2024 року, м. Дніпро). С. 93-96.

5. **Триус В.О.**, Місюров О.В. Оцінка ефективності біоадаптивної технології вирощування сої. Матеріали НПК викладачів, аспірантів та студентів Сумського НАУ (14-16 травня 2024 р.) С. 27.

6. Бутенко А.О., **Триус В.О.**, Саворський В.В. Ефективність біопрепаратів залежно від схеми їх застосування при передпосівній обробці насіння сої. The 1st International scientific and practical conference “Technologies for improving old methods, theories and hypotheses” (January 07–10, 2025) Sofia, Bulgaria. International Science Group. 2025. P. 15-18. DOI – 10.46299/ISG.2025.1.1

7. **Триус В.О.**, Бутенко Є.Ю., Зубко О.М. Районування сортів сої за групами стиглості. III International Multidisciplinary Scientific and Theoretical Conference «Current scientific goals, approaches and challenges», held on January 17, 2025 in Riga are presented in the collection of scientific papers. P. 121-124. DOI 10.36074/scientia-17.01.2025

8. **Триус В.О.**, Зубко О.М., Бутенко А.О. Перспективи вирощування сої в Україні. Інноваційні технології у рослинництві: матеріали міжнародної науково-практичної інтернет-конференції до 115-ої річниці з дня народження доктора сільськогосподарських наук, професора, член-кореспондента НАН України, Заслуженого діяча науки України Кияка Григорія Степановича, 30 квітня 2025 р. С. 142-145. Львівський НУВМБ ім. С. З. Гжицького. Північний кампус, м. Дубляни, 2025.

9. **Триус В.О.**, Зубко О. М. Формування генеративних органів рослини сої залежно від передпосівної обробки насіння. Матеріали науково-практичної конференції викладачів, аспірантів та студентів Сумського НАУ (14-18 квітня 2025 р.). Суми, 2025. С. 15.

10. **Триус В.О.** Стале вирощування сої в Україні: стан, виклики та перспективи. «Гончарівські читання»: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 96-річчю з дня народження доктора сільськогосподарських наук, професора Гончарова Миколи Дем'яновича (23-24 травня 2025 р.). Суми, 2025. С. 101-104.

11. **В. Триус, А. Бутенко, Л. Крючко.** Вплив біостимуляторів на ріст та продуктивність сої. Матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції «Стан і перспективи розробки та впровадження ресурсоощадних, енергозберігаючих технологій вирощування сільськогосподарських культур» (м. Дніпро, 19–20 листопада 2025 р.). – Дніпро: ДДАЕУ, 2025. С. 45-47.

### **Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір (патент)**

1. Стаття: «Ефективність застосування мікробних препаратів та фізіологічно-активних речовин на показники продуктивності сої в умовах Північно-Східного Лісостепу України». Автор (співавтори): **Триус Вячеслав Олегович**, Готвянська Анна Сергіївна, Горщар Владислав Іванович, Бордун Роман Миколайович. № 130961. Дата реєстрації 29 жовтня 2024 р.

2. Літературний письмовий твір наукового характеру: «Районування сортів сої за групами стиглості». Автор (співавтори): **Триус Вячеслав Олегович**, Бутенко Євгенія Юріївна, Зубко Олександр Михайлович. № 135647. Дата реєстрації 29 квітня 2025 р.

## ABSTRACT

*Tryus V.O.* Development of bioadaptive technology for soybean cultivation in the conditions of the North-Eastern Forest-Steppe of Ukraine. – Manuscript.

Thesis for a Doctor Philosophy (PhD): Specialty 201 “Agronomy”. Sumy National Agrarian University, Ministry of Education and Science of Ukraine. – Sumy, 2026.

Soybean cultivation is of paramount importance for ensuring food security and healthy nutrition in Ukraine and the world. The grain of this crop is a vital source of plant protein, which, in its amino acid composition, is almost equal to proteins of animal origin, and also contains vitamins B, E, and essential minerals such as potassium, calcium, and phosphorus. In addition to its nutritional value, soybean is a key crop for sustainable agriculture because, through symbiosis with nodule bacteria, it is capable of fixing atmospheric nitrogen, enriching the soil for subsequent crops in the rotation. One of the key factors that plays a decisive role during soybean cultivation is the adaptability of the technology to specific soil and climatic conditions.

Bioadaptive soybean cultivation technologies allow for stable yields even under conditions of increasing hydrothermal stress. They are characterized by the use of the biological potential of plants and microorganisms, which ensures a more predictable development of the agro-phytocenosis. These technologies are becoming increasingly popular among farmers in the North-Eastern Forest-Steppe of Ukraine, as they reduce the cost of mineral nitrogen fertilizers and increase the resistance of crops to adverse weather factors.

On the other hand, traditional intensive methods of soybean cultivation do not always provide the desired results in the context of global climate change. The bioadaptive approach ensures a longer period of active functioning of the photosynthetic apparatus and has the ability to support yield formation during dry periods of the growing season. This is particularly useful in the North-Eastern

region, where uneven precipitation can significantly affect the stability and level of yield. The use of modern inoculants and humic stimulants provides more flexible soybean cultivation, especially for large agro-holdings and farms striving for greener production.

The choice of the optimal composition of inoculants and foliar feeding schemes for soybeans plays a key role in achieving high yields and ensuring the successful cultivation of this valuable legume crop. Determining an appropriate nutrition scheme depends on weather and climatic conditions and regional characteristics of the Forest-Steppe. Soybean is a crop that requires a significant amount of moisture during flowering and pod filling; therefore, bioadaptive technology is aimed at maximum moisture conservation in plants and the activation of the symbiotic apparatus in the early spring period.

Regarding the methods of applying biological products, it is important to consider the soil type and its microbiological activity. Pre-sowing seed inoculation is considered the optimal treatment method. However, the cultivation technology also involves the use of growth stimulants during the budding and early seed filling phases. Under such conditions, the feeding area of the crop increases through the development of a powerful root system, and photosynthetic activity increases, which, in turn, can positively affect yield and economic efficiency in the conditions of the North-Eastern part of Ukraine.

Fertilizing soybeans with biological products and microfertilizers plays an important role in ensuring active plant growth and development, as well as the formation of a high yield. Soybeans, like many other crops, require an appropriate amount of nutrients, but their peculiarity is that the bulk of nitrogen should be obtained naturally.

One of the key mineral elements required for effective symbiosis is molybdenum and boron, which contribute to the formation of nodules. Nitrogen obtained as a result of bacterial activity promotes the formation of leaves and stems, and significantly increases yield. Phosphorus is necessary for the healthy development of roots and the formation of flowers, which is a prerequisite for the

formation of full pods. Potassium also plays an important role in regulating the water balance of soybean plants and increasing their resistance to heat stress.

When choosing the optimal bioadaptive technology scheme for soybeans, it is important to consider not only the needs of plants for specific nutrients but also soil characteristics such as pH, humus content, and mobile forms of phosphorus. Successfully selected biological products contribute not only to soybean yield but also ensure the optimal use of natural resources and preservation of the environment. They allow for uniform and effective provision of plants with necessary nutrients throughout the vegetation period, which affects the quality and quantity of the harvest, as well as the general state of the agro-ecosystem.

Collectively, all the aforementioned factors—from inoculation to foliar feeding—play an important role in the formation of the crop yield. Therefore, the issue of choosing optimal bioadaptive agro-practices for soybean cultivation is extremely relevant for the North-Eastern Forest-Steppe of Ukraine.

To determine the optimal conditions for growing soybeans, a study was conducted at the Institute of Agriculture of the Northeast of the National Academy of Agrarian Sciences during 2023–2025. The soil of the experimental site was leached chernozem, low-humus, medium-loamy on loess. The experiment was multi-factorial. In particular, one of the factors was various options for pre-sowing seed inoculation (using the "Rizohumin" preparation and other strains). The next factor studied was the timing and doses of foliar feeding with humic stimulants. The third factor was different levels of mineral background. In recent years, the combination of the latest microbiological preparations with plant immunity stimulation systems has hardly been studied in the conditions of the North-Eastern Forest-Steppe; therefore, this direction became the main focus of our research.

The study analyzed the seed germination and survival of soybean plants under various inoculation conditions. The results showed that variants with seed treatment using Rizohumin had higher indices of field germination. However, soybean plants on a bioadaptive background showed better tolerance to environmental conditions, having a 4–5% higher survival rate compared to the

control. The research also highlighted the importance of the temperature regime during sowing, as bacterial activity directly depends on soil warming.

The formation of soybean yield depending on the elements of bioadaptive technology was described. During the experiments, the average yield varied from 2.8 t/ha to 3.6 t/ha. Maximum yield was obtained with the integrated use of inoculation and double foliar feeding with stimulants. Early growth stages were decisive for the formation of stand density, especially for variants where humic preparations were used, which ensured an increase in yield by 0.5–0.8 t/ha compared to the basic technology.

The study analyzed and established the indicators of nitrogen fixation intensity. The results showed that soybeans had higher numbers of nodules on the roots when using integrated protection and stimulation. The dry matter weight of soybean plants was significantly higher in variants with a bioadaptive approach, and the grain-to-total biomass ratio was 35–40%, indicating an effective redistribution of plastic substances.

For soybeans, the 1000-seed weight was higher when using biological products and ranged from 160 g to 185 g, while in the control, the grain weight decreased due to nitrogen deficiency during the filling period. Grain quality indicators depended on the intensity of symbiosis, which was characterized by high uniformity and protein content (38–42%). The Siverka variety had higher grain quality indicators when using biological products, but was more dependent on timely fertilization.

Soybean varieties for mass production require resistance to pod shattering and a harmonious ripening process. The studied technology allowed for achieving uniform ripening of crops, which facilitated mechanized harvesting. The plant lodging index was minimal due to the strengthening of the stem under the influence of potassium-containing microfertilizers in the bioadaptive feeding system.

An analysis of soybean grain quality indicators under different fertilization options was conducted. Quality indicators were highest when combining

inoculation and humic preparations: crude protein content increased by 3.5%, and oil content stabilized at 21–22%. Quality decreased in the absence of inoculation, which confirmed the key role of biological nitrogen. The genotype played a significant role in protein accumulation, while bioadaptive technology allowed for mitigating the negative impact of weather conditions on these indicators.

The study examined the response of soybeans to several microbiological fertilization options. The variety showed the highest yield in years with favorable moisture, reaching 3.8 t/ha with the application of integrated biostimulants. Despite extreme weather conditions in certain years, the yield on the bioadaptive background did not fall below critical levels, highlighting the stabilizing role of the developed technology.

The test weight (grain unit weight) of soybean grain increased depending on the nutrition system. The maximum grain weight per plant was observed in variants with double feeding. On average over the years of research, the 1000-seed weight increased by 10–15 g. The application of various options of bioadaptive protection positively affected the quantitative yield indicators, significantly exceeding the control variants.

The influence of fertilization options on the leaf area index was studied. The highest indicators of photosynthetic potential were achieved with the application of the calculated dose of biological products during the flowering phase. This ensured better grain filling and higher yield weight per unit area.

The influence of biologicalization on morphological characteristics was established: plant height, number of pods, and seed weight per plant. The tallest plants and the largest number of productive nodes were observed when using Rizohumin. The vegetative mass before harvesting was optimal, providing a high harvest index.

The economic feasibility was established for each element of the technology. Total costs increase with the use of additional preparations; however, the yield and grain quality compensate for these costs. The highest profit was obtained in the variant with the full bioadaptive scheme (15,897 UAH/ha), where the profitability

was 68%. The lowest efficiency was observed in variants with high doses of mineral nitrogen, where the costs exceeded the income from the additional harvest.

The results obtained indicate that the development of bioadaptive technology is the most profitable and environmentally sound way to grow soybeans in the conditions of the North-Eastern Forest-Steppe of Ukraine. Siverka has a higher potential for profitability when using biological products. Choosing the optimal option for growing soybeans allows you to achieve high competitiveness of products on the market.

**Keywords:** soybean, yield, inoculation, variety, Rhizohumin, humic preparations, nitrogen fixation, productivity, grain quality, 1000-seed weight, protein, technology elements, sowing, economic efficiency, profitability.

## ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	2
ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ .....	8
ABSTRACT.....	12
ЗМІСТ .....	18
ВСТУП.....	20
РОЗДІЛ 1. АГРОТЕХНІЧНІ ФАКТОРИ ТА ЇХ НАУКОВИЙ БАЗИС У ФОРМУВАННІ ПРОДУКТИВНОСТІ СОЇ.....	23
1.1. Господарська цінність сої для сталого розвитку агросектору та її економічний потенціал.....	23
1.2. Вплив генетичного потенціалу на продуктивність культури .....	26
1.3. Наукове обґрунтування застосування біодобрих за вирощування сої.....	33
1.4. Ефективність застосування стимуляторів росту.....	39
Висновки до розділу 1 .....	42
Використані джерела.....	43
РОЗДІЛ 2. УМОВИ, МАТЕРІАЛ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ .....	57
2.1. Оцінка кліматичних та ґрунтових умов дослідного поля.....	57
2.2. Характеристика досліджуваного сорту та біодобрих .....	63
2.3. Структура польового дослідження та методика наукових спостережень .....	65
Висновки до розділу 2.....	68
Використані джерела.....	69
РОЗДІЛ 3. АГРОБІОЛОГІЧНЕ ОБґРУНТУВАННЯ ІНОКУЛЯЦІЇ ТА ПОЗАКОРЕНЕВОГО ПІДЖИВЛЕННЯ СОЇ.....	70
3.1. Вплив біопрепаратів та регуляторів росту на кількість бульбочок у сої сорту Сіверка .....	70

3.2. Вплив біопрепаратів та регуляторів росту на масу бульбочок у сої сорту Сіверка .....	78
3.3. Кореляційний аналіз впливу досліджуваних факторів на кількість та масу бульбочок .....	85
Висновки до розділу 3 .....	89
Використані джерела .....	90
<b>РОЗДІЛ 4. ФОРМУВАННЯ ПОСІВНИХ ПОКАЗНИКІВ, ПРОДУКТИВНОСТІ ТА ЯКОСТІ ЗЕРНА СОЇ ЗАЛЕЖНО ВІД ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРИЙОМІВ ВИРОЩУВАННЯ .....</b>	<b>92</b>
4.1. Польова схожість насіння та збереженість рослин сої залежно від передпосівної обробки насіння та позакореневого підживлення .....	92
4.2. Аналіз показників продуктивності та індивідуальної структури врожаю сої .....	95
4.3. Оцінка вмісту сирого протеїну та олії в насінні сої за комплексного застосування біопрепаратів та позакореневого підживлення .....	110
4.4. Кореляційний аналіз впливу досліджуваних факторів на схожість, структуру врожаю та урожайність сої .....	118
Висновки до розділу 4 .....	126
Використані джерела .....	127
<b>РОЗДІЛ 5. ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ БІОПРЕПАРАТІВ ТА СТИМУЛЯТОРІВ РОСТУ ПРИ ВИРОЩУВАННІ СОЇ .....</b>	<b>131</b>
Висновки до розділу 5 .....	134
Використані джерела .....	134
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>136</b>
<b>РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ .....</b>	<b>139</b>
<b>ДОДАТКИ .....</b>	<b>140</b>

## ВСТУП

**Обґрунтування теми дослідження.** Соя (*Glycine max (L.) Merr.*) є стратегічно важливою сільськогосподарською культурою, яка займає провідне місце у світовому та вітчизняному агровиробництві. Її унікальність полягає у високому вмісті повноцінного білка та олії, що робить її незамінною як у харчовій промисловості, так і в кормовиробництві. Окрім високої поживної цінності, соя відіграє ключову екологічну роль, оскільки здатна до симбіотичної азотфіксації, що сприяє поліпшенню родючості ґрунтів та оптимізації азотного балансу в сівозмінах.

Важливим елементом сучасної технології вирощування сої є перехід до біоадаптивних систем. В умовах Північно-Східного Лісостепу України, де останніми роками спостерігається посилення гідротермічного стресу, саме біологізація технологій дозволяє стабілізувати врожайність. Використання сучасних інокулянтів та гумінових стимуляторів росту дозволяє не лише реалізувати генетичний потенціал сучасних сортів, а й значно підвищити їхню стійкість до несприятливих чинників довкілля.

Не менш важливим є поєднання мікробіологічних препаратів із раціональними нормами мінерального удобрення. Оскільки інтенсивна хімізація часто пригнічує природний симбіоз, у роботі розглядається вплив біоадаптивних чинників на ріст, розвиток та формування продуктивності сої в умовах регіону.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, темами.** Дослідження проводилися на базі Інституту сільського господарства Північного Сходу Національної академії аграрних наук впродовж 2023–2025 років. Експериментальна частина дисертації є складовою науково-дослідної роботи кафедри агротехнологій та ґрунтознавства СНАУ за темою: «Удосконалення елементів сортової технології вирощування зернових культур в умовах Північно-Східного Лісостепу України» (№ державної реєстрації 0121U108973) та Інституту сільського господарства Північного Сходу НААН

за темою: «Оптимізація біологічних процесів в агроecosистемах для забезпечення ефективного, екологічно збалансованого аграрного виробництва» (№ державної реєстрації 0121U108693), де автор є співвиконавцем.

**Метою дослідження** є наукове обґрунтування та розробка елементів біоадаптивної технології вирощування сої, яка забезпечує підвищення активності симбіотичного апарату, фотосинтетичної активності та врожайності зерна з високими якісними показниками в умовах Північно-східного Лісостепу.

Виходячи з поставленої мети, передбачено вирішення таких **завдань**:

- Визначити вплив інокуляції та позакореневого підживлення на формування симбіотичного апарату сої.
- Дослідити динаміку росту, розвитку та формування площі листової поверхні під впливом біопрепаратів.
- Встановити вплив досліджуваних чинників на врожайність та якість зерна (вміст протеїну та олії).
- Визначити економічну та енергетичну ефективність розробленої біоадаптивної технології.
- Запропонувати виробництву найбільш ефективні комбінації інокулянтів та стимуляторів росту.

**Об'єкт дослідження** – процеси формування врожаю та якості зерна сої залежно від елементів біоадаптивної технології (інокуляції та стимуляції росту) в умовах Північно-Східного Лісостепу України.

**Предмет дослідження** – закономірності впливу мікробних препаратів, гумінових стимуляторів та норм добрив на симбіотичну активність, врожайність, виживання рослин та якість продукції сої.

**Методи дослідження.** Польові дослідження проводилися на території Інституту сільського господарства Північного Сходу Національної академії аграрних наук протягом 2023–2025 рр. Методологія базувалася на загальноприйнятих рекомендаціях у агрономії (за В. О. Єщенко).

Використовувалися польовий, лабораторний, математично-статистичний (Statistica 10.0, MS Excel) та розрахунково-порівняльний методи.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Уперше для умов регіону науково обґрунтовано синергічну дію новітніх штамів ризобій та гумінових стимуляторів на продуктивність сої. Оптимізовано схеми позакореневого підживлення у критичні фази розвитку культури. Доведено високу адаптивну здатність розробленої технології до умов кліматичної нестабільності.

**Практичне значення отриманих результатів.** Агровиробникам рекомендовано впровадження системи біологізації живлення, що дозволяє збільшити врожайність сої на 0,5–0,8 т/га та підвищити рентабельність виробництва до 68% при одночасному зниженні екологічного навантаження на ґрунт.

**Особистий внесок здобувача.** Автор самостійно проводив планування та виконання всіх етапів польових і лабораторних досліджень, здійснював збір, систематизацію та статистичну обробку експериментальних даних. Всі наукові висновки та рекомендації виробництву сформульовані автором особисто.

**Апробація результатів.** Результати досліджень оприлюднені на міжнародних науково-практичних конференціях у Сумах, Дніпрі, Дублянах, а також на закордонних наукових майданчиках (Італія, Литва, Іспанія, Португалія, Велика Британія).

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 17 наукових праць, з яких 5 статей у фахових виданнях України, 1 стаття у міжнародній наукометричній базі Scopus та 11 тез доповідей.

**Структура та обсяг дисертаційної роботи.** Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, висновків та практичних рекомендацій. Матеріали викладені на 152 сторінках, містять 23 таблиць та 16 рисунків. Список використаних джерел включає 153 найменувань.

## РОЗДІЛ 1

### АГРОТЕХНІЧНІ ФАКТОРИ ТА ЇХ НАУКОВИЙ БАЗИС У ФОРМУВАННІ ПРОДУКТИВНОСТІ СОЇ

#### 1.1. Господарська цінність сої для сталого розвитку агросектору та її економічний потенціал

Соя (*Glycine max* (L.) Merr.) – культура, що є однією з найдавніших і, водночас, досі не втратила своєї актуальності в сільському господарстві та є перспективною культурою у світовому агропромисловому комплексі (Bagale, 2021; Korobko, 2021; Mizernyk, 2024). Завдяки тому, що зерно культури поєднує у собі високий вміст білку, ліпідів та важливих мікроелементів, соя набула широкого застосування як у харчовій промисловості, так і в тваринництві, фармацевтиці та навіть біоенергетиці (Sobko et al., 2021; Zabarna & Cheresnyuk, 2024). Актуальність дослідження сої зумовлена змінами клімату (Голодна та ін., 2021), зростаючим попитом на здорове харчування, розвитком харчової промисловості, що потребує альтернативних джерел білка, а також глобальними викликами у сфері продовольчої безпеки (Мазур et al., 2021).

Сьогодні соя займає провідні позиції серед бобових культур за площами посівів, урожайністю та обсягами експорту не лише в Україні, а й у світі. Зокрема, на Рис. 1.1 відображено динаміку посівної площі культури починаючи з 2000 р. У 2000 році площі становили лише 65 тис. га, але вже до 2015 року відбулося стрімке зростання до рекордних 2158 тис. га. Після цього спостерігається спад: у 2019 році – 1609 тис. га, у 2020 – 1351 тис. га, а в 2021 – лише 1006 тис. га. Однак у 2022 році намітилась тенденція до відновлення – площі зросли до 1559 тис. га.

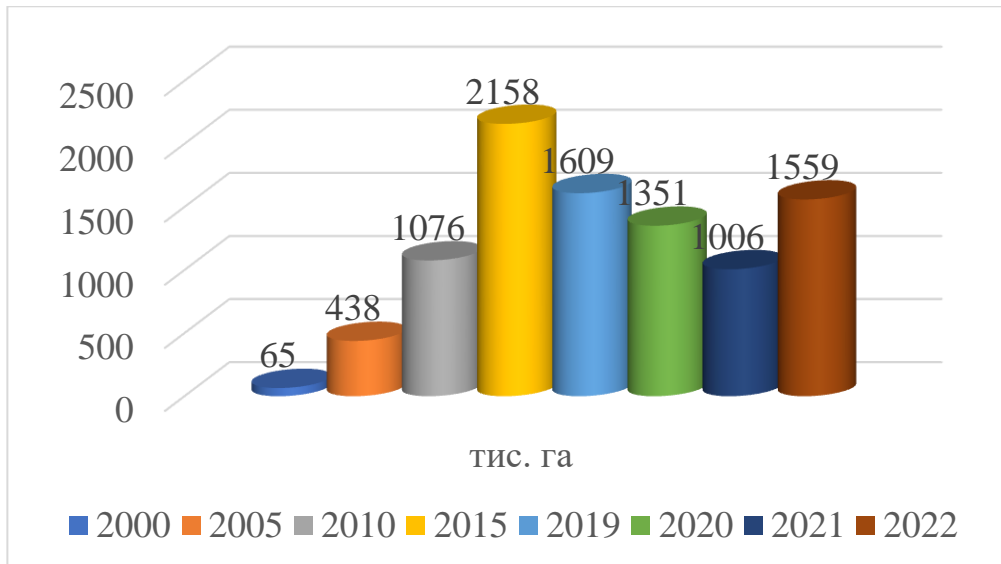


Рис. 1.1. Посівні площі, що займала соя від 2000 до 2022 рр. (Прокопенко, 2023)

На Рис. 1.2 представлено динаміку валового збору сої в Україні: у 2000 році він становив лише 64,4 тис. га, але вже у 2005 році зріс до 612,6 тис. га, а у 2010 році – до 1680,2 тис. га. Пік виробництва був зафіксований у 2015 році – 3930,6 тис. га. У наступні роки спостерігається деяке зменшення: у 2019 році – 3698,7 тис. га, у 2020 – 2797,7 тис. га, а у 2021 – 2893,2 тис. га. У 2022 році площа знову зросла до 3443,8 тис. га.

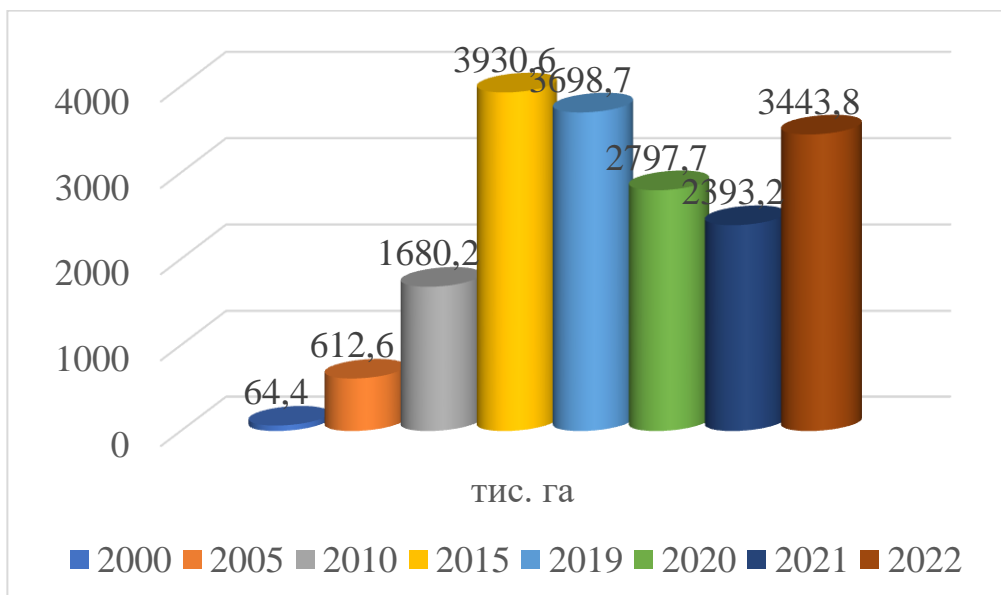


Рис. 1.2. Валовий збір сої у 2000-2022 рр. (Прокопенко, 2023)

Рис. 1.3 демонструє урожайність сої в Україні за період з 2000 по 2022 рік. У 2000 році вона становила 10,6 т/га, у 2005 році зросла до 14,5 т/га, а в 2010 – до 16,2 т/га. Подальше зростання спостерігається у 2015 році – 18,4 т/га, у 2019 – 22,9 т/га. У 2020 році урожайність дещо зменшилася до 20,5 т/га, проте вже у 2021 досягла найвищого рівня за весь період – 26,4 т/га. У 2022 році спостерігається спад до 22,6 т/га. Загалом графік демонструє стабільну тенденцію до зростання урожайності сої в Україні, з деякими коливаннями, що можуть бути пов'язані з погодними умовами, змінами в технологіях вирощування або іншими зовнішніми факторами.

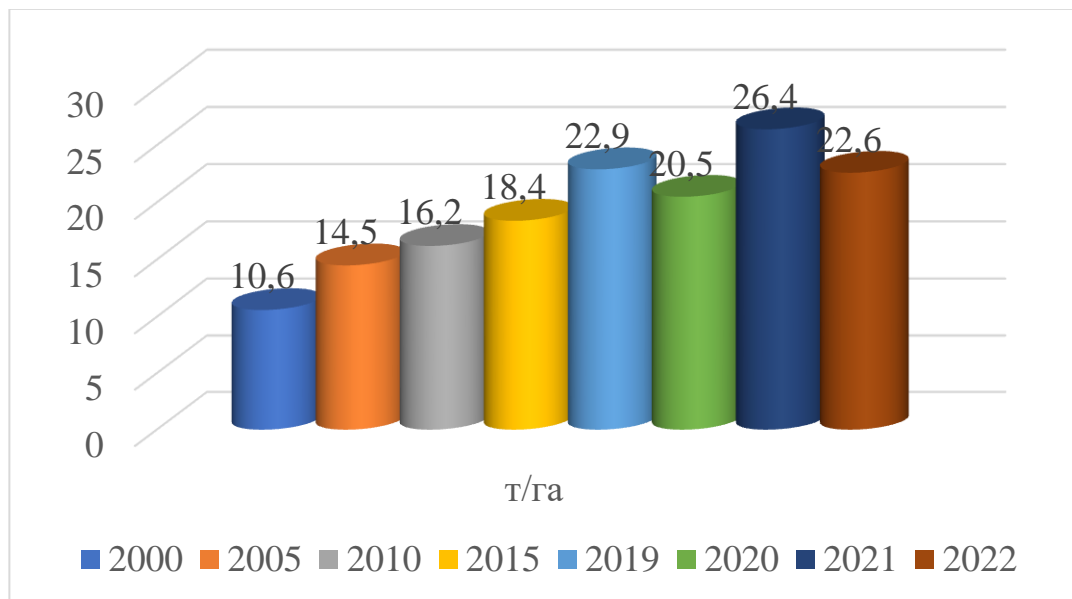


Рис. 1.3. Урожайність сої у 2000-2022 рр. (Прокопенко, 2023)

Окрім значної економічної доцільності вирощування сої (Bandara et al., 2020; Goldsmith, 2008; Peretiatko & Rudik, 2021), її агроекологічне значення є не менш важливим (Hamza et al., 2024). Будучи бобовою культурою, соя, завдяки симбіозу з бульбочковими бактеріями на коренях, має унікальну здатність фіксувати атмосферний азот (Li et al., 2008; Rodríguez-Navarro et al., 2011; Subramanian et al., 2015). Цей природний процес покращує родючість ґрунтів та зменшує потребу у внесенні мінеральних азотних добрив, що робить сою цінним компонентом сівозмін та ефективним інструментом сталого сільського господарства.

Більше того, розвиток селекції сприяв створенню високопродуктивних сортів, які добре адаптовані до різноманітних кліматичних умов, розширюючи таким чином ареал її вирощування (Tian et al., 2010; Miladinovic et al., 2011; Teixeira et al., 2017). В умовах глобального потепління та трансформації структури посівів у багатьох країнах, включаючи Україну, соя все частіше розглядається як стратегічна культура з високим експортним потенціалом (Montanía et al., 2021; Shelest et al., 2023; Molla et al., 2024; Jiang et al., 2025). З огляду на це, поглиблене вивчення продуктивності, технологій вирощування, сортового різноманіття та адаптаційного потенціалу сої є надзвичайно актуальним як з економічної, так і з екологічної перспективи, сприяючи не лише отриманню прибутку, але й збереженню природних ресурсів.

## **1.2. Вплив генетичного потенціалу на продуктивність культури**

Сучасні наукові дослідження в галузі вирощування сої спрямовані на розкриття її генетичного потенціалу через селекцію, оптимізацію технологій вирощування та застосування різноманітних агротехнічних прийомів. Вчені активно працюють над підвищенням стійкості культури до абіотичних та біотичних стресів, збільшенням продуктивності та покращенням якісних характеристик зерна. Особливу увагу приділяють прискоренню селекційного процесу, зокрема шляхом використання контрольованих умов вирощування в закритому ґрунті. Розглядаються різні аспекти селекції, включаючи успадкування господарсько-цінних ознак, створення нових ліній з покращеним складом жирних кислот та підвищеним вмістом білка, а також використання сучасних методів геномного редагування для вдосконалення існуючих сортів.

Саме тому вчені активно досліджують питання селекції сої, а саме працюють над підвищенням стійкості культури до стресів, збільшенням продуктивності чи покращенням якості зерна (Bhat & Yu, 2021; Vieira & Chen, 2021; Wang et al., 2022). Деякі вчені працюють над селекцією культури навіть

в умовах закритого ґрунту, задля пришвидшення селекційного процесу. Зокрема, (Lee et al., 2023) встановили, що найефективніші умови для вирощування – це 9 годин освітлення LED-лампами при інтенсивності 506 мкмоль/(м<sup>2</sup>·с), щільність посадки 5×5 см, температура 25°C ±2°C і вологість 50% ±10%. За цих умов перехід до наступного покоління сої можливий у середньому за 73 дні, що дозволяє отримати до п'яти поколінь на рік в умовах закритого ґрунту або чотири покоління за рік з одним циклом у полі.

Селекція може бути спрямована задля покращення будь-якої з ознак сортів (Drozda, 2024) та гібридів сої. Так, наприклад, Базиленко та ін. (2022), вивчали ознаку кількості бобів, що утворюються на продуктивних вузлах культури для сортів та гібридів сої. Було встановлено, що ознака значно варіює відповідно до груп стиглості. У дослідженні Білявська (2024), було вивчено господарсько-цінні ознаки залежно від вихідного матеріалу для гібридизації культури. Так, відповідно до отриманих багаторічних селекційну роботу з удосконалення показників урожайності рослин сої варто проводити в потомстві міжсорткових гібридів Аметист / Краса Поділля, Bravella / Білоснежка / Альтаір. В свою чергу Рибальченко, 2022 було встановлено, що за масою насіння з рослини, кількістю бобів та кількістю насіння з рослини в більшості F1 гібридів спостерігалось гетерозисне успадкування. Успадкування тривалості вегетаційного періоду відрізнялось від успадкування основних показників насінневої продуктивності – переважно воно було проміжним, а для отримання ранньостиглих форм доцільніше використовувати у схрещуваннях більш скоростиглі генотипи, які мають незначні відмінності у тривалості вегетаційного періоду. Цікавим є дослідження Білявська та ін. (2021) та Білявська & Гарбузов (2025), які висвітлюють те, що неопушені лінії сої з високими показниками господарської цінності перевищують стандартні сорти (наприклад, Алмаз і Адамос) за економічною ефективністю, зокрема за складом жирних кислот у насінні. Аналіз якісного складу насіння та зеленої маси (олія, білок, клітковина та ін.) показав перевагу нових ліній над сортами Устя, Юг-30 та

Аннушка. Визначено селекційну цінність неопушеного батьківського матеріалу для створення сортів кормового призначення, хоча такі форми наразі відсутні в Реєстрі сортів рослин України. На ефективність вирощування культури також може впливати й технологія вирощування культури. Втім, (Grabovskyi et al., 2023) довели, що в умовах Київської області якісні показники зерна сої не змінювались залежно від технології вирощування, проте вона суттєво впливала на урожайність.

У результатах досліджень Guo et al. (2022), було підкреслено важливість сої як джерела рослинного білка й олії, а також виклики селекції сортів із високим вмістом білка без зниження урожайності при цьому. Важливість досліджень полягає в тому, що в них описано генетичні особливості успадкування ознаки вмісту білка в зерні, ключові гени, які пов'язані з білковим складом, а також досягнення в транс-криптоміці, метаболоміці та протеоміці. Представлено напрями створення та використання високо-білкових генотипів і перспективи селекції сої з підвищеним вмістом білка. У дослідженні Pansyreva & Mazur (2022), представлено результати вивчення ранньостиглих та ультраранніх високобілкових сортів сої. Встановлено, що їх вегетаційний період триває 83–85 днів, а врожайність коливається в межах 2,00–3,25 т/га, з найвищими показниками у сортів Діон (3,25 т/га) та Аррата (3,0 т/га). Також, встановлено сорти з високою стійкістю до вилягання, осипання насіння, посухи та хвороб (Авангард, Геба, Арніка, Рогізнянка, Діона, Кобза). Найвищий вміст білка у насінні мали сорти Беркана (43,4%), Райдужна (42,3%), Голубка і Мелодія (42,1%), а найбільший вміст жиру – Геба (22,0%), ОАС Lakeview (21,7%) та Голубка (21,6%).

Дослідження Rebollo-Hernanz et al., 2022 висвітлює білковий профіль сої, зокрема співвідношення гліциніну до  $\beta$ -конгліциніну, що суттєво впливає на її здатність регулювати холестериновий обмін і запобігати окисненню ліпопротеїнів низької щільності *in vitro*. Серед 19 досліджених сортів п'ять було відібрано як найефективніші: вони знижували рівень холестерину на 43–

55% шляхом інгібування HMGCR, зменшували естерифікацію холестерину, синтез тригліцеридів, секрецію VLDL і окиснення ЛПНЩ, а також регулювали експресію ключових генів (ANGPTL3, PCSK9, LDLR). Найкращі результати показали сорти з нижчим співвідношенням гліцинін:β-конгліцинін, що вказує на перспективність використання таких сортів у функціональних харчових продуктах для підтримки серцево-судинного здоров'я. У дослідженні Cai et al. (2021), описано, що мутація *ln*, яка зумовлює втрату функції гена *GmJAG1* і збільшує кількість насінин у бобі, широко використовується в сучасному селекційному доборі сої високих широт, але відсутня у сортах з тропічних і субтропічних регіонів. Щоб перенести цю корисну ознаку у низькоширотні сорти, дослідники за допомогою CRISPR/Cas9 провели редагування гена *GmJAG1* у сорті Huachun 6. Отриманий мутант *gmjag* мав вужчі листки, вищий відсоток 3- і 4-насінних бобів та забезпечив приріст урожайності на 8,81% у весняному і 8,67% у літньому полігонному випробуванні. Це свідчить про ефективність використання CRISPR/Cas9 для прискореного поліпшення сортів сої в тропічних регіонах. У огляді Lin et al. (2022), узагальнено понад 800 локусів/алелів стійкості та пов'язаних з ними маркерів для 28 хвороб сої, спричинених нематодами, ооміцетами, грибами, бактеріями й вірусами. Основну увагу приділено проривам у вивченні вертикальної стійкості, зокрема генів *rhg1* і *Rhg4* проти соєвої цистової нематоди та *Rps11*, що забезпечує стійкість до 80% ізолятів *Phytophthora sojae* у США. Також систематизовано підтвержені QTL, що повторюються у щонайменше двох дослідженнях, і впроваджено єдину номенклатуру для їх назв. Варто відмітити, що у дослідженні Liang et al. (2022) було виявлено ген, що відповідає за гілкування культури, що суттєво впливає на урожайність сої.

Метою дослідження Maranna et al. (2021) було покращення врожайності та адаптивності сої. Вчені проаналізували 68 селекційних ліній і 7 контрольних сортів та виявили високу генетичну варіабельність за 12 кількісними ознаками. Декілька ліній перевершили контрольні сорти за

врожайністю, зокрема сорт NRC 128, який показав стабільну продуктивність на семи локаціях. У Північній рівнинній зоні він забезпечив на >20% більший урожай, ніж найкращий контрольний сорт, а у Східній зоні – на 9,8% більше. Також NRC 128 проявив толерантність до перезволоження, подібну до стійкого сорту JS 97–52. На підставі цих результатів NRC 128 було офіційно затверджено до вирощування у Східній та Північній рівнинних зонах Індії.

Однак, не лише потенціал сорту чи гібриду впливає на біометричні показники, продуктивність культури чи якість її зерна. Варто зважати також і на способи удобрення. Так, Марініч & Бурлаєнко (2023), встановили, що кожен із досліджуваних сортів має свою «відповідь» на норми добрив. Зокрема, в умовах Полтавської області найвища врожайність сорту Агат була зафіксована за внесення добрив  $N_{15}P_{60}K_{60}$ , а для сорту Артеміда норма становила  $N_{30}P_{60}K_{60}$ . У дослідженні Fedoruk et al. (2022), автори також наголошують на внесенні оптимальної норми фосфорно-калійних добрив.

Результатами досліджень Мащенко & Соколовська (2023), доведено, що у Степовій зоні України найбільш ефективним є органо-мінеральне удобрення. Щодо умов Правобережного Лісостепу Крижанівський & Бахмат, 2023 довели, що за вирощування сої ефективним є використання інокуляція насіння штамом 634б, що дозволяє підвищити вміст протеїну у зерні сорту Легенда, водночас на вміст ліпідів у зерні вплинуло використання штамів 34б та 614А для передпосівної обробки насіння. Дослідження Міленко та ін. (2023), що були проведені у Лісостепу України протягом 2020–2022 років, засвідчили позитивний вплив інокуляції насіння сої бактеріальними препаратами Оптімайз 400 та БіоМаг Соя на її ріст, розвиток та врожайність. Зокрема, обробка Оптімайз 400 підвищила лабораторну схожість на 1,9%, енергію проростання – на 3,3%, а врожайність – на 0,65 т/га порівняно з контролем. Інокуляція сприяла кращому утворенню бобів, збільшенню маси насіння та розміру 1000 насінин. У результатах, опублікованих Козирський та ін. (2025) було розглянуто вплив мікродобрив і фунгіцидів на продуктивність сортів сої. Дослідження засвідчили, що сумісне застосування

мікродобрив (Фульвогумін) і фунгіцидів дало синергетичний ефект, що сприяв кращому росту рослин і зниженню інфекційного навантаження. Найвища урожайність була у сорту Азимут (3,88 т/га), а максимальна прибавка (0,65 т/га) спостерігалася при поєднанні листових підживлень і фунгіцидного захисту, що доводить ефективність комплексного підходу.

У дослідженні Гадзало та ін. (2024), було оцінено вплив інокулянтів та засобів захисту рослин на біометричні показники та врожайність сортів сої за зрошення. Встановлено, що інокуляція препаратом Оптимайз та застосування хімічного захисту максимально підвищують урожайність – до 3,88 т/га у сорту Деймос. Найменшу продуктивність (1,77 т/га) зафіксовано у сорту Фаєтон без обробки пестицидами. Інокулянти Нітрофікс і Оптимайз дали можливість отримати приріст урожайності до 19,8%. У статті Markovska et al. (2023), проаналізовано ефективність хімічних протруйників у технології вирощування сої, зокрема для захисту насіння від ґрунтових та насінневих патогенів. Найпоширенішими хворобами виявились фузаріоз (19,6%), несправжня борошниста роса (10,3%), септоріоз (13,5%) та бактеріоз (6,4%). Серед протруйників найкращі результати продемонстрував Авідо ТН, забезпечивши найвищу лабораторну (91%) та польову схожість (90,4%), а також максимальну врожайність – до 389,2 г/м<sup>2</sup>. У порівнянні з еталонним Максим XL 035 FS, Авідо ТН виявився ефективнішим на всіх етапах початкового росту сої та сприяв вищому формуванню врожаю.

Технологія вирощування сої відіграє надзвичайно важливу роль (Шепілова та ін., 2023; Панцирева & Ковальчук, 2024; Didur et al., 2024). Зокрема, більшість агровиробників турбує передусім саме економічна ефективність вирощування сої. Так, Buslayeva et al. (2024) обґрунтували оптимальні дози мінеральних добрив та передпосівної інокуляції насіння, що дозволить отримати оптимальну врожайність та, водночас, підтримати рентабельність виробництва. Дослідження Pelekh (2021), говорять про те, що дві фоліарні обробки препаратом Вуксал Мікроплант забезпечують оптимальну рентабельність вирощування культури. А Ratoszniuk et al. (2023),

встановили, що на дерново-підзолистих ґрунтах рентабельною є саме біологічна система удобрення. До того ж, Панфілова & Тарабріна (2025), Volokhovskiy et al. (2024) та Vorodai et al. (2022), довели, що за використання біопрепаратів за вирощування сої покращує ще й мікробіологічну активність ґрунту, зменшення кількості патогенів, кругообіг поживних речовин в ньому, а також його структуру.

Однак, збільшити врожайність можна не лише завдяки використанню мінеральних добрив, а й за вирощування культури органічним способом. Так, наприклад, Сидорак та ін., 2023 встановили, що такі сорти як Аврора, Тріада та Азимут позитивно реагують на інокуляцію насіння Ризоактивом у нормі 1 л/т та дворазової фоліарної обробки культури Фульвогуміном. Водночас дослідження Kunychak et al. (2023) та Kunychak et al. (2024), встановили не лише оптимальні дози мінеральних добрив ( $N_{30}P_{30}K_{30}$ ) та позакореневого підживлення регуляторами росту, а й технологію обробітку ґрунту в Західних областях України. Зокрема, рекомендовано впроваджувати зяблеву оранку у поєднанні із весняним чизелюванням. Дослідження Гангур та ін. (2021), свідчить, що використання комбінованого культиватора АК-6 для передпосівної обробки ґрунту та інокуляції насіння препаратом Ризогумін є найбільш економічно доцільним.

Ефективним є також використання мікродобрив, так, наприклад, використання Нано-мінераліс забезпечило приріст урожаю від 470 до 560 ц/га залежно від сорту (Шовкова & Коротич, 2021). А в дослідженні Milenko & Solomon (2022), також було підтверджено ефективність мікродобрива (Агрігардіан Мікромікс Компліт), проте у поєднанні з інокулянтом Soyex та фунгіцидним протруйником. Результати Івасик & Бахмат (2023), вказують на те, що найбільш сприятливою для вирощування сої була комбінація інокуляції, внесення мінеральних добрив у нормі  $N_{60}P_{40}$  та застосування регулятора росту Мегафол.

Отже, підрозділ розкриває ключову роль генетичного потенціалу у визначенні продуктивності сої та представляє огляд сучасних наукових

досліджень, спрямованих на його розкриття та оптимізацію. Акцент зроблено на селекційних підходах, включаючи традиційну селекцію, використання контрольованих умов вирощування та методи геномного редагування, для підвищення стійкості до стресів, збільшення врожайності та поліпшення якості зерна. Крім того, підрозділ охоплює дослідження, що вивчають успадкування важливих агрономічних ознак, створення нових сортів та ліній з покращеними характеристиками, а також вплив технологій вирощування та систем удобрення на реалізацію генетичного потенціалу сої.

### 1.3. Наукове обґрунтування застосування біодобрив за вирощування сої

Традиційно вважається, що інокуляція позитивно впливає на біометричні показники культури та продуктивність культури. На цю тему існує безліч досліджень як вчених з України так і всього світу. Найбільш популярною є тема впливу того чи іншого біодобрива, або ж конкретного штаму бактерії чи грибів саме на продуктивність сої. Рисунок 1.4 у вигляді тег-хмари відображає найбільш вживані для цієї цілі мікроорганізми.



Рис. 1.4. Тег-хмара найчастіше вживаних мікроорганізмів для підвищення продуктивності сої

Вчені, які проводили дослідження на території Польщі, виявили, що передпосівна інокуляція насіння сої інокулянтами, що містять у своєму складі *Bradyrhizobium japonicum*, у поєднанні з мінеральними добривами, справляє істотний вплив на підвищення врожайності культури (Halwani et al., 2021; Serafin-Andrzejewska et al., 2024). Тривале трирічне польове випробування продемонструвало, що найвищі результати щодо збільшення кількості бульбочок на коренях і врожайності насіння досягаються шляхом інокуляції насіння цими бактеріями перед висівом у поєднанні з позакореневим внесенням молібдену (Jarecki, 2023).

Дослід у Північно-Східній Німеччині засвідчив, що застосування місцевих штамів *Bradyrhizobium* (GMF14, GMM36, GEM96) у тепличних умовах сприяло більш ефективному утворенню бульбочок та засвоєнню азоту рослинами сої порівняно з польовими умовами. При цьому ефективність взаємодії між бактеріями та рослинами значною мірою залежала від конкретної комбінації штаму бактерій та сорту сої. Так, штам USDA110 стабільно підвищував врожайність сортів Sultana та Siroca, тоді як GMM36 ефективніше діяв у поєднанні з Sultana, а GEM96 – із Siroca. Таким чином, використання локальних ізолятів позитивно впливає на врожайність, проте для досягнення оптимального симбіозу необхідне ретельне підбирання штаму до конкретного сорту (Omari et al., 2022).

На території Польщі дослідження, проведене на сортах Aldana та Annushka, засвідчило, що інокуляція *Bradyrhizobium japonicum* сприяє активному формуванню бульбочок, покращенню структурних елементів урожаю, що врешті призводить до зростання врожайності (Szpunar-Krok et al., 2023). Зокрема, застосування *B. japonicum* дозволило збільшити врожай насіння приблизно на 20% і підвищити вміст білка на 10%. Комбіноване використання інокулянтів та азотних мінеральних добрив покращувало якість

зерна: зростала концентрація білка та клітковини, тоді як знижувався вміст золи та жиру (Księżak & Wojarszczuk, 2022).

Водночас дослідження (Jaborova et al., 2021) підтверджують ефективність інокуляції, проте рекомендують використовувати інокулянти з додаванням *Pseudomonas putida*. Проте у США впродовж двох вегетаційних періодів дослідження, проведене в різних агрокліматичних умовах, не виявило істотного впливу інокуляції насіння сої *Azospirillum brasilense* (окремо або в комбінації з *Bradyrhizobium japonicum*) на основні агрономічні характеристики. Лише в 2 із 25 випадків було зафіксовано статистично значуще підвищення врожайності внаслідок спільного застосування обох бактерій (De Borja Reis et al., 2022).

Дослідники в Бразилії у період 2009–2020 років також проводили аналогічні експерименти (Barbosa et al., 2022). Результати свідчать, що ко-інокуляція *Azospirillum brasilense* і *Bradyrhizobium spp.* сприяє розвитку кореневої системи та утворенню більшої кількості бульбочок. Особливо високі результати фіксувалися на піщаних ґрунтах, у безполицевому обробітку, в умовах тропіків, на детермінантних сортах сої з потенціалом урожайності нижче 3,5 т/га. Подальші дослідження в Бразилії (Prando et al., 2024) продемонстрували ще більш виражені переваги такої ко-інокуляції, що виявлялися у зростанні кількості бульбочок та підвищенні урожайності в різних кліматичних умовах.

Дослідження (Kumawat et al., 2022) показали, що одночасна інокуляція сої штамами *Bradyrhizobium sp.* LSBR-3 і *Pseudomonas oryzihabitans* LSE-3 значно покращує симбіотичні процеси, засвоєння поживних елементів і врожай. Така подвійна інокуляція позитивно впливає на проростання, висоту рослин, біомасу, вміст хлорофілу, кількість і масу бульбочок.

Водночас ко-інокуляція *Bradyrhizobium ottawaense* SG09 з *Pseudomonas* (OFT2 та OFT5), згідно з дослідженням (Win et al., 2024), покращує ефективність утворення бульбочок, ріст, фізіологічні процеси, засвоєння азоту та іонів, що забезпечує зростання врожайності у сортів Enrei та

Fukuyutaka. У горщичних умовах (Zhang et al., 2023) застосування *Pseudomonas chlororaphis* і *Bacillus altitudinis* окремо покращувало фізіологічні показники, але найсильніший ефект фіксувався при їх спільному внесенні.

Згідно з результатами досліджень (Sheteiwu et al., 2021), інокуляція *Bacillus amyloliquefaciens* та арбускулярних мікоризних грибів (AMF) позитивно впливає на продуктивність сої сорту Giza 111. Особливо це помітно за різних умов зволоження – як при достатній кількості вологи, так і під час посухи, коли комбіноване використання мікроорганізмів демонструє найкращі результати.

Отже, з урахуванням представлених даних, можна зробити висновок, що інокуляція та бульбочкові бактерії відіграють ключову роль у формуванні врожайності сої. Це підкреслює необхідність вивчення та вибору найбільш ефективних мікроорганізмів для збільшення кількості та маси бульбочок, що схематично відображено на рисунку 1.5.

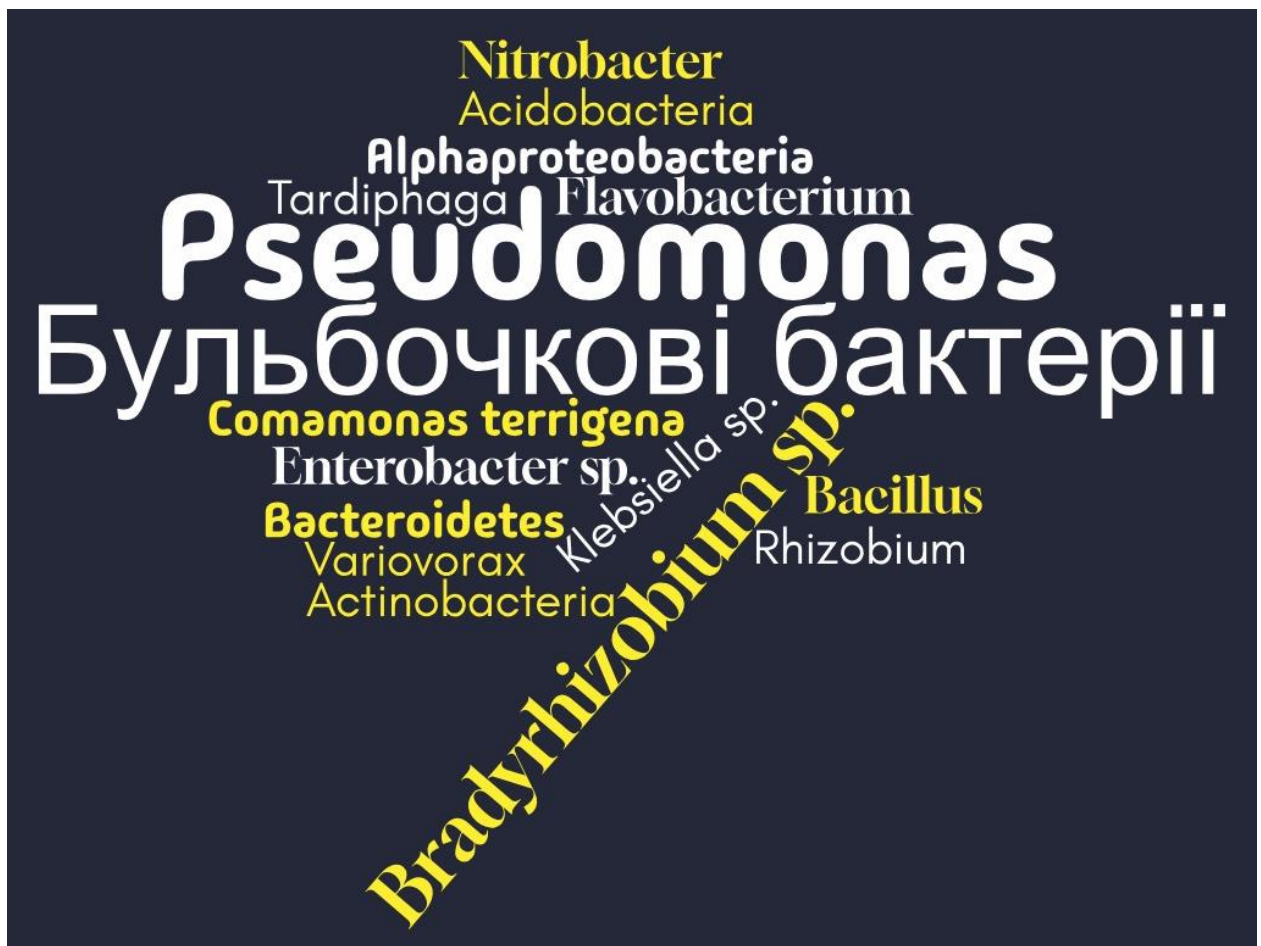


Рис. 1.5. Тег-хмара найчастіше вживаних мікроорганізмів для стимуляції росту та розвитку бульбочкових бактерій

Результати дослідження, проведеного Korobko et al. (2024), свідчать про високу ефективність інокуляції насіння сої препаратом Ризолін (на основі *Bradyrhizobium japonicum*) у поєднанні з дворазовим внесенням хелатних мікродобрив. Така технологія сприяла активному розвитку симбіотичного апарату, що виразилося у зростанні кількості та маси бульбочок, а також у підвищенні частки активних бульбочок на коренях сої. Як наслідок, спостерігалось підвищення як загального, так і активного симбіотичного потенціалу, що забезпечило істотне збільшення обсягів біологічно фіксованого азоту у сортах Самородок і Амадеус.

Інше дослідження (Tariq et al., 2024), проведене в польових умовах, показало, що ендofітні бактерії, ізольовані з бульбочок сої, володіють значним потенціалом стимуляції росту рослин. Зокрема, інокуляція штамми NSB9 (*Bradyrhizobium sp.*), NSB15 (*Comamonas terrigena*) та NSB17 (*Pseudomonas indica*) зумовила істотне підвищення врожайності зерна на 30%, 31% та 45% відповідно порівняно з контролем. Ці мікроорганізми розглядаються як перспективні біодобрива для підвищення врожайності сої на сталих засадах.

Дослідження, проведене Tu et al. (2021), у лабораторних і тепличних умовах, виявило, що ко-інокуляція *Bradyrhizobium diazoefficiens* разом з бактеріями роду *Pseudomonas* покращила формування бульбочок, збільшила масу кореневої системи і пагонів, а також зумовила підвищення вмісту основних поживних елементів у тканинах рослин порівняно з контролем.

У роботі Mayhood & Mirza (2021) проведено аналіз 193 мікробіомів бульбочок сої, ізольованих з дев'яти різних рослин. Виявлено, що *Bradyrhizobium japonicum* домінував у всіх бульбочках, незважаючи на наявність інших сумісних ризобій у ґрунтового середовищі. Серед неризобіальних ендofітів найчастіше зустрічалися *Nitrobacter* і *Tardiphaga*, однак у низькій концентрації. Інші неризобіальні мікроорганізми, зокрема

*Bacillus*, *Pseudomonas*, *Flavobacterium* та *Variovorax*, виявлялися рідко та нерівномірно в межах однієї рослини. Це вказує на те, що рослина-господар віддає перевагу *Bradyrhizobium*, тоді як роль інших бактерій у симбіозі є обмеженою.

Hu et al. (2023) встановили, що інокуляція ризобіями позитивно впливає на ріст, азотфіксацію та врожайність сої, особливо за умов дефіциту сірки. Результати підкреслюють важливість інокуляції у стресових умовах, хоча зазначено, що при низькому рівні сірки коренева система сої працює менш ефективно, що підвищує залежність рослини від бульбочкових бактерій.

У межах дослідження мікробного складу ризосфери та бульбочок на різних стадіях росту сої, вчені з Кореї (Sohn et al., 2021) виявили, що активність ризосфери суттєво зростає у процесі вегетації. Мікробний склад змінювався залежно від сорту сої та стадії її розвитку. Найбільше представленими у ризосфері були *Actinobacteria*, *Alphaproteobacteria* та *Acidobacteria*, тоді як *Bacteroidetes* демонстрували значну динаміку. У бульбочках переважали *Alphaproteobacteria*, з домінуванням *Bradyrhizobium* протягом усього вегетаційного періоду. Зі зростанням рослини зростала також частка неризобіальних мікроорганізмів.

Робота Zhang et al. (2023) показала, що бактерії *Enterobacter sp.* та *Klebsiella sp.* у поєднанні з *Bradyrhizobium diazoefficiens* значно покращують ріст сої та ефективність азотфіксації. Таке комбіноване застосування створює синергетичний ефект у порівнянні з окремим внесенням бактерій.

Згідно з результатами десятирічного польового дослідження Wei et al. (2023), сумісне застосування *Bradyrhizobium japonicum* разом із фосфорно-калійними добривами значно покращило ріст, розвиток та врожайність сої. Особливо вражаючим було збільшення сухої маси бульбочок на 34% порівняно з контролем, що включав лише традиційне внесення азотно-фосфорно-калійних добрив.

Таким чином, наведені результати підтверджують надзвичайно важливу роль інокуляції та мікробного складу у формуванні врожайності сої, а також

необхідність раціонального підходу до вибору ефективних мікроорганізмів з урахуванням агроекологічних умов.

#### **1.4. Ефективність застосування стимуляторів росту**

У сучасному агровиробництві поряд зі зростанням попиту на біодобрива, спостерігається підвищений інтерес до застосування біологічно активних речовин, зокрема стимуляторів росту, які розглядаються як екологічно безпечна альтернатива традиційним агрохімікатам. Соя, як одна з провідних продовольчих і кормових культур, займає важливе місце у світовому сільському господарстві. Тому вивчення впливу стимуляторів росту на врожайність, якість продукції та адаптивність сої до стресових умов є актуальним, особливо в контексті змін клімату в Україні (Amoanima-Dede et al., 2022). У цьому розділі розглянуто наукові дані про фізіологічні механізми дії різних стимуляторів росту на рослини сої, їхній вплив на ключові агрономічні показники та потенційні напрями використання в технологіях вирощування цієї культури.

З метою посилення стійкості сої до абіотичних чинників – зокрема, посухи, перегріву та засолення ґрунтів – перспективним є використання біостимуляторів природного походження. Серед них виділяють екстракти морських водоростей, амінокислоти, а також мікробні інокулянти. Ці речовини активують фізіолого-біохімічні процеси адаптації, оптимізують водоспоживання, впливають на антиоксидантні системи та покращують засвоєння мінеральних елементів (Sankhala et al., 2024).

Так, у дослідженнях Шепілової та ін (2025), проведених у північному Степу України впродовж 2022–2024 років, встановлено, що застосування стимуляторів Eraiz, Atonik Plus, Humifield, Mars EL у поєднанні з інокуляцією насіння інокулянтом BioMag Soybean позитивно вплинуло на ріст і продуктивність сої сорту Азімут за умов посушливого клімату. Найкращі результати були отримані при комбінованому використанні Mars EL і BioMag, що сприяло збільшенню площі листкової поверхні, висоти рослин, кількості

бобів і маси насіння з однієї рослини. Урожайність зросла на 4,2 ц/га (на 20,6%) порівняно з контролем.

У дослідженні Al-Fahdawi & Mustafa (2023), яке проводилося в Багдаді, обприскування рослин сої розчином фолієвої кислоти (2 г/л) значно підвищувало вміст білка, антиоксидантну активність, рівень інгібування вільних радикалів і концентрацію флавоноїдів. Застосування глутатіонової кислоти (100 мг/л) також мало позитивний ефект, а максимальні результати досягалися при їх одночасному внесенні.

Використання препарату Coriphol, до складу якого входить піролізна кислота, отримана з агровідходів, у дозі 2 гал/акр забезпечило стимулювання росту і зростання врожайності сої (Noel et al., 2024). Аналіз зерна показав підвищення вмісту білка та лізину, тоді як вміст насичених жирних кислот знизився.

Встановлено, що фітостимулятор Stimulate, який містить ауксини, цитокініни та гібереліни, позитивно впливає на кількість бобів, швидкість росту, індекс врожайності та загальну врожайність сої (Viana et al., 2023).

У дослідженні Noli et al. (2021) оцінювався вплив рідких екстрактів морських водоростей (*Padina minor*, *Sargassum crassifolium*, *Sargassum cristaefolium*, *Turbinaria decurrens*) на вегетативний розвиток сої. Найефективнішим виявився екстракт *Padina minor*, який збільшив висоту рослин, кількість листків і сирої маси.

Експерименти в Бразилії (Meyer et al., 2021) засвідчили, що застосування екстракту *Ecklonia maxima* у дозах від 250 до 1000 мл/га на фазах V4, R1 та V4+R1 призвело до покращення морфологічних показників та підвищення врожайності.

Дослідження De Lima et al. (2024) вивчали вплив позакореневого підживлення нікотинамідом у дозах від 100 до 600 мг/л. Результати показали збільшення висоти рослин, кількості гілок, маси 1000 насінин та загальної врожайності.

У роботі Morais et al. (2022) досліджувався вплив біостимуляторів за різного рівня вологозабезпечення. Під час посухи істотних змін не виявлено, однак за нормальної зволоженості біостимулятори позитивно впливали на масу 1000 насінин і врожай. Оптимальною схемою визнано триетапне застосування: обробка насіння, підживлення на фазах V5 і R1.

Дослідження Burkitbayev et al. (2021) вивчали ефективність сірковмісних агрохімікатів різних форм. Найкращі результати з точки зору росту, урожайності та білкового складу спостерігалися при внесенні порошкоподібної та розчинної форм, тоді як пастоподібна форма виявилася неефективною.

Робота Chen et al. (2023) досліджували дію *гібереліну A3* і мепіквату хлориду на симбіоз сої з бактеріями *Sinorhizobium fredii* та *Bradyrhizobium japonicum*. Гіберелін стимулював утворення бульбочок, але пригнічував активність ферментів фіксації азоту, яку частково відновлював мепікват. Комплексне застосування сприяло підвищенню врожайності, вмісту азоту в зерні, активності нітратредуктази та інших біохімічних показників.

Дослідження Alves et al. (2025) дослідили дію тіаміну та нікотинамідру на фазі V3. Усі обробки забезпечили приріст висоти та врожайності, підтверджуючи їхній потенціал як біостимуляторів.

У дослідженні Tkachuk et al. (2024) було проаналізовано ефективність комбінацій інокуляції препаратом Різогумін-Плюс та обробки ретардантом хлормекватхлорид (0,5%, 0,75%, 1%) на прикладі сортів Азимут і Голубка в умовах Лісостепу України. Оптимальним виявився варіант 0,75%, що забезпечив високу густоту, симбіотичну активність і продуктивність: 2,43 т/га для сорту Азимут і 2,67 т/га для Голубка.

Робота Solomiychuk & Pikovskiy (2021) визначили оптимальні комбінації біологічних препаратів. Суміш Біомаг Соя + Біофосфорин + ФітоДоктор + Урожай Старт значно покращувала фітосинтетичну активність, вегетаційні індекси та стійкість до хвороб. Ефективне застосування таких

систем може знизити потребу в хімічних засобах захисту, забезпечивши сталу продуктивність сої.

Узагальнюючи результати численних досліджень, можна зробити висновок, що застосування біологічно активних речовин, зокрема стимуляторів росту природного походження, є ефективним інструментом підвищення продуктивності сої. Такі речовини, як екстракти морських водоростей, амінокислоти, вітаміни, а також мікробні інокулянти, сприяють активізації фізіолого-біохімічних процесів, покращують використання води та елементів живлення, підвищують стійкість рослин до абіотичних стресів, зокрема спеки, посухи та засолення ґрунтів.

Результати дослідів, проведених у різних агрокліматичних умовах, підтверджують доцільність використання стимуляторів росту у поєднанні з інокуляцією, що дозволяє досягати стабільного підвищення врожайності, покращення якості зерна та зменшення потреби у традиційних агрохімікатах. Такий підхід відповідає сучасним вимогам сталого землеробства та забезпечує адаптивність сої до змін клімату.

### **Висновки до розділу 1:**

1. Соя є стратегічною культурою з високим продовольчим, експортним та агроекологічним потенціалом. Її вирощування сприяє покращенню родючості ґрунтів завдяки здатності до симбіотичної фіксації азоту та забезпечує альтернативне джерело білка в умовах глобальних викликів продовольчої безпеки.

2. Генетичний потенціал сої визначає її продуктивність і якість зерна, а сучасні селекційні підходи дозволяють створювати сорти з високою стійкістю до біо- та абіотичних стресів. Досягнення у сфері гібридизації, використання маркер-асоційованої селекції та редагування геному (CRISPR/Cas9) відкривають нові перспективи у підвищенні врожайності.

3. Впровадження біологізованих агротехнологій, зокрема інокуляції штамами *Bradyrhizobium spp.*, *Azospirillum spp.* та *Pseudomonas*, значно

підвищує симбіотичну активність, азотфіксацію та врожайність сої. Комбіноване застосування інокулянтів і мінеральних добрив показує найкращі результати в агроекологічних умовах України.

4. Біологічно активні речовини, зокрема стимулятори росту (екстракти морських водоростей, амінокислоти, вітаміни), ефективно покращують фізіолого-біохімічні процеси в рослинах сої. Їх застосування у стресових умовах позитивно впливає на ріст, врожайність та якість продукції, а також дозволяє знизити потребу в традиційних агрохімікатах.

### Використані джерела

1. Базиленко, Є. О., Марченко, Т. Ю., & Лавриненко, Ю. О. (2022). Прояв і мінливість ознаки «кількість бобів на продуктивних вузлах рослини» у гібридів та сортів сої різних груп стиглості. *Аграрні інновації*, 15, 128–133. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.15.19>
2. Білявська, Л. Г. (2024). Господарсько-цінні ознаки, їх рівень та кореляційні зв'язки у потомствах гібридних популяцій сої. *Scientific Progress & Innovations*, 27(2), 6–11. <https://doi.org/10.31210/spi2024.27.02.01>
3. Білявська, Л. Г., Білявський, Ю. В., Діянова, А. О., & Гарбузов, Ю. Є. (2021). Нові селекційні форми сої для кормовиробництва. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*, 3, 58–65. <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.03.07>
4. Білявська, Л. Г., & Гарбузов, Ю. Є. (2025). Перспективні неопушені сорти сої культурної. *Scientific Progress & Innovations*, 27(4), 26–30. <https://doi.org/10.31210/spi2024.27.04.05>
5. Гадзало, Я. М., Вожегова, Р. А., & Лікар, Я. О. (2024). Оптимізація технології вирощування сортів сої на поливних землях залежно від інокуляції насіння та захисту рослин. *Аграрні інновації*, 24, 53–59. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.24.7>
6. Гангур, В. В., Пипко, О. С., & Прокопів, О. О. (2021). Продуктивність сої залежно від технології передпосівного обробітку ґрунту

та інокулювання. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*, 4, 85–90.  
<https://doi.org/10.31210/visnyk2021.04.10>

7. Голодна, А. В., Губенко, Л. В., & Любчич, О. Г. (2021). Тенденції вирощування сої в Київській області в умовах змін клімату. *Challenges, threats and developments in biology, agriculture, ecology, geography, geology and chemistry*, 191–194. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-111-4-45>

8. Івасик, М. В., & Бахмат, М. І. (2023). Підвищення продуктивності зерна сої в умовах Поділля. *Podilian Bulletin Agriculture Engineering Economics*, 37, 51–57. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2022-2-8>

9. Козирський, Д. В., Сидорак, І. Я., Григор'єв, В. М., Коруняк, О. П., & Трач, І. В. (2025). Формування продуктивності сої залежно від мікродобрив та фунгіцидного захисту. *Podilian Bulletin Agriculture Engineering Economics*, 46, 53–59. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2025-1.6>

10. Крижанівський, М. В., & Бахмат, О. М. (2023). Продуктивність сої залежно від застосування органічних добрив, інокуляції насіння та регуляторів росту рослин. *Podilian Bulletin Agriculture Engineering Economics*, 37, 26–31. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2022-2-4>

11. Мазур, В. А., Ткачук, О. П., Панцирева, Г. В., & Капчук, І. М. (2021). *Соя в інтенсивному землеробстві*. «Нілан-ЛТД».

12. Марініч, Л., & Бурлаєнко, К. (2023). Продуктивність сої залежно від технології вирощування. *SWorldJournal*, 28–02, 30–38. <https://doi.org/10.30888/2663-5712.2024-28-00-004>

13. Мащенко, Ю. В., & Соколовська, І. М. (2023). Продуктивність сої залежно від попередників та системи удобрення в сівозмінах короткої ротації Степової зони України. *Аграрні інновації*, 20, 50–55. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.20.8>

14. Міленко, О. Г., Сідаш, А. А., Невкритий, М. М., Плішко, О. В., & Костенко, Р. В. (2023). Вплив препаратів на ефективність інокуляції посівного матеріалу сої. *Аграрні інновації*, 16, 49–53. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.16.8>

15. Панфілова, А. В., & Тарабріна, А.-М. О. (2025). Фітопатологічний стан ґрунту та розвиток хвороб сої залежно від технології вирощування в умовах Північного Степу України. *Аграрні інновації*, 28, 85–91. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.28.13>
16. Панцирева, Г. В., & Ковальчук, В. М. (2024). Дослідження елементів технології вирощування сої на основі мобілізаційних агропідходів за природніх процесів ґрунтово-імобілізаційного характеру. *Аграрні інновації*, 24, 107–112. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.24.15>
17. Прокопенко, О. (2023). *Статистичний збірник «Сільське господарство України»*. Державна служба статистики України.
18. Рибальченко, А. М. (2022). Прояв гетерозису та ступеня фенотипового домінування за елементами продуктивності та тривалістю періоду вегетації у F1 сої. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The series: Agronomy and Biology*, 46(4), 62–67. <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.4.9>
19. Сидорак, І., Чинчик, О., Вільчинська, Л., & Панасюк, Р. (2023). Бактеризація і позакореневе підживлення в технології вирощування сої. *SWorldJournal*, 27–02, 106–124. <https://doi.org/10.30888/2663-5712.2024-27-00-039>
20. Шепілова, Т. П., Петренко, Д. І., Лещенко, С. М., Васильковська, К. В., & Андрейченко, О. Г. (2025). Вплив стимуляторів росту на продуктивність сої в умовах Північного Степу України. *Scientific Progress & Innovations*, 28(1), 11–14. <https://doi.org/10.31210/spi2025.28.01.02>
21. Шепілова, Т. П., Петренко, Д. І., Лещенко, С. М., Васильковська, К. В., & Ковальов, М. М. (2023). Науково обґрунтована оптимізація агротехніки вирощування сої. *Scientific Progress & Innovations*, 26(2), 56–59. <https://doi.org/10.31210/spi2023.26.02.10>
22. Шовкова, О. В., & Коротич, Є. В. (2021). Ефективність мікродобрив для передпосівної обробки насіння сої. *Вісник Полтавської*

державної аграрної академії, 4, 98–102.  
<https://doi.org/10.31210/visnyk2021.04.12>

23. Al –Fahdawi, S. A., & Mustafa, S. B. I. (2023). The Combined Effect of Bio-Stimulants and Antioxidants on The Qualitative, Chemical Characteristics on Essential Oil of Soybean. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1262(5), 052004. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1262/5/052004>

24. Alves, V. C. D., Vendruscolo, E. P., Lima, S. F., Ferreira, L. M., Ribeiro, B. L. Q., Menezes, I. E. M., & Nunes, R. C. B. (2025). Vitamin application affects gas exchange, growth, and yield of soybean plants. *Brazilian Journal of Biology*, 85. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.290401>

25. Amoanimaa-Dede, H., Su, C., Yeboah, A., Zhou, H., Zheng, D., & Zhu, H. (2022). Growth regulators promote soybean productivity: A review. *PeerJ*, 10, e12556. <https://doi.org/10.7717/peerj.12556>

26. Bagale, S. (2021). Nutrient Management for Soybean Crops. *International Journal of Agronomy*, 2021, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2021/3304634>

27. Bandara, A. Y., Weerasooriya, D. K., Bradley, C. A., Allen, T. W., & Esker, P. D. (2020). Dissecting the economic impact of soybean diseases in the United States over two decades. *PLOS ONE*, 15(4), e0231141. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231141>

28. Barbosa, J. Z., Roberto, L. D. A., Hungria, M., Corrêa, R. S., Magri, E., & Correia, T. D. (2022). Meta-analysis of maize responses to *Azospirillum brasilense* inoculation in Brazil: Benefits and lessons to improve inoculation efficiency. *Applied Soil Ecology*, 170, 104276. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104276>

29. Bhat, J. A., & Yu, D. (2021). High-throughput NGS-based genotyping and phenotyping: Role in genomics-assisted breeding for soybean improvement. *Legume Science*, 3(3), e81. <https://doi.org/10.1002/leg3.81>

30. Bolokhovskiy, V., Borodai, V., Kosovska, N., Bolokhovska, V., Nagorna, O., Yakovenko, D., & Kuzmych, V. (2024). Effect of Groundfix and

Ecoster biological preparations on soil microbiota under soybean (*Glycine max* L.) cultivation. *Agroecological journal*, 3, 156–163. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2024.311190>

31. Borodai, V., Kosovska, N., Parfenyuk, A., & Tertychna, O. (2022). Effect of PhytoHelp and MycoHelp biopreparations on the soil microbiotes for soybean growing (*Glycine max* (L.) Merr.). *Agroecological journal*, 1, 99–109. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2022.255183>

32. Burkitbayev, M., Bachilova, N., Kurmanbayeva, M., Tolenova, K., Yerezhepova, N., Zhumagul, M., Mamurova, A., Turysbek, B., & Demeu, G. (2021). Effect of sulfur-containing agrochemicals on growth, yield, and protein content of soybeans (*Glycine max* (L.) Merr). *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(1), 891–900. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.11.033>

33. Buslayeva, N., Golodna, A., & Hrytsiuk, Ya. (2024). Fore-casting profitability levels for different soybean (*Glycine max* L.) cultivation technology options. *Agroecological journal*, 3, 164–172. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2024.311192>

34. Cai, Z., Xian, P., Cheng, Y., Ma, Q., Lian, T., Nian, H., & Ge, L. (2021). CRISPR/Cas9-mediated gene editing of *GmJAGGED1* increased yield in the low-latitude soybean variety Huachun 6. *Plant Biotechnology Journal*, 19(10), 1898–1900. <https://doi.org/10.1111/pbi.13673>

35. Chen, W., Li, J., Yuan, H., You, L., Wei, Q., Feng, R., Jiang, S., & Zhao, X. (2023). Plant growth regulators improve nitrogen metabolism, yield, and quality of soybean–rhizobia symbiosis. *Annals of Microbiology*, 73(1). <https://doi.org/10.1186/s13213-023-01721-y>

36. De Borja Reis, A. F., Rosso, L. H. M., Adee, E., Dan Davidson, Kovács, P., Purcell, L. C., Below, F. E., Casteel, S. N., Knott, C., Kandel, H., Naeve, S. L., Singh, M. P., Archontoulis, S., & Ciampitti, I. A. (2022). Seed inoculation with *Azospirillum brasilense* in the U.S. soybean systems. *Field Crops Research*, 283, 108537. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108537>

37. De Lima, S. F., Vendruscolo, E. P., Alves, V. C. D., Arguelho, J. C., Pião, J. D. A., Seron, C. D. C., Martins, M. B., Witt, T. W., Serafim, G. M., & Contardi, L. M. (2024). Nicotinamide as a biostimulant improves soybean growth and yield. *Open Agriculture*, 9(1), 20220259. <https://doi.org/10.1515/opag-2022-0259>
38. Didur, I. M., Pansyryeva, H. V., Holovanuk, A. B., & Kovalchuk, V. M. (2024). Study of varietal technology of soybean growing in the conditions of climate change. *Ukrainian Journal of Natural Sciences*, 9, 150–158. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.15>
39. Drozda, O. V. (2024). Variety as important soybean growing technology factor. *Interagency thematic scientific collection «Irrigated agriculture»*, 81, 19–23. <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2024.81.3>
40. Fedoruk, I. V., Kolodiy, V. A., & Khmeliianchyshyn, Yu. V. (2022). Influence of nutrients on productivity of soybeans. *Taurian Scientific Herald*, 128, 221–227. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.128.30>
41. Goldsmith, P. D. (2008). Economics of Soybean Production, Marketing, and Utilization. B *Soybeans* (c. 117–150). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-1-893997-64-6.50008-1>
42. Grabovskyi, M. B., Fedoruk, Yu. V., Grabovska, T. O., Lozinskyi, M. V., & Kozak, L. A. (2023). Comparative assessment of the yield and quality indicators of soybean varieties according to traditional and organic technology. *The Scientific Journal Grain Crops*, 7(1), 113–122. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0266>
43. Guo, B., Sun, L., Jiang, S., Ren, H., Sun, R., Wei, Z., Hong, H., Luan, X., Wang, J., Wang, X., Xu, D., Li, W., Guo, C., & Qiu, L.-J. (2022). Soybean genetic resources contributing to sustainable protein production. *Theoretical and Applied Genetics*, 135(11), 4095–4121. <https://doi.org/10.1007/s00122-022-04222-9>
44. Halwani, M., Reckling, M., Egamberdieva, D., Omari, R. A., Bellingrath-Kimura, S. D., Bachinger, J., & Bloch, R. (2021). Soybean Nodulation

Response to Cropping Interval and Inoculation in European Cropping Systems. *Frontiers in Plant Science*, 12, 638452. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.638452>

45. Hamza, M., Basit, A. W., Shehzadi, I., Tufail, U., Hassan, A., Hussain, T., Siddique, M. U., & Hayat, H. M. (2024). Global Impact of Soybean Production: A Review. *Asian Journal of Biochemistry, Genetics and Molecular Biology*, 16(2), 12–20. <https://doi.org/10.9734/ajbgmb/2024/v16i2357>

46. Hu, Y., Chen, Y., Yang, X., Deng, L., & Lu, X. (2023). Enhancing Soybean Yield: The Synergy of Sulfur and Rhizobia Inoculation. *Plants*, 12(22), 3911. <https://doi.org/10.3390/plants12223911>

47. Jabborova, D., Kannepalli, A., Davranov, K., Narimanov, A., Enakiev, Y., Syed, A., Elgorban, A. M., Bahkali, A. H., Wirth, S., Sayyed, R. Z., & Gafur, A. (2021). Co-inoculation of rhizobacteria promotes growth, yield, and nutrient contents in soybean and improves soil enzymes and nutrients under drought conditions. *Scientific Reports*, 11(1), 22081. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01337-9>

48. Jarecki, W. (2023). Soybean Response to Seed Inoculation or Coating with *Bradyrhizobium japonicum* and Foliar Fertilization with Molybdenum. *Plants*, 12(13), 2431. <https://doi.org/10.3390/plants12132431>

49. Jiang, X., Li, H., Dai, X., Li, J., & Liu, Y. (2025). An Empirical Analysis of Global Soybean Supply Potential and China's Diversified Import Strategies Based on Global Agro-Ecological Zones and Multi-Objective Nonlinear Programming Models. *Agriculture*, 15(5), 529. <https://doi.org/10.3390/agriculture15050529>

50. Korobko, A. (2021). Dynamics of soybean production in Ukraine and the world. *Balanced nature using*, 4, 125–134. <https://doi.org/10.33730/2310-4678.4.2021.253098>

51. Korobko, A., Kravets, R., Mazur, O., Mazur, O., & Shevchenko, N. (2024). Nitrogen-Fixing Capacity of Soybean Varieties Depending on Seed Inoculation and Foliar Fertilization with Biopreparations. *Journal of Ecological Engineering*, 25(4), 23–37. <https://doi.org/10.12911/22998993/183497>

52. Książak, J., & Bojarszczuk, J. (2022). The Effect of Mineral N Fertilization and Bradyrhizobium japonicum Seed Inoculation on Productivity of Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill). *Agriculture*, 12(1), 110. <https://doi.org/10.3390/agriculture12010110>

53. Kumawat, K. C., Singh, I., Nagpal, S., Sharma, P., Gupta, R. K., & Sirari, A. (2022). Co-inoculation of indigenous *Pseudomonas oryzihabitans* and *Bradyrhizobium* sp. Modulates the growth, symbiotic efficacy, nutrient acquisition, and grain yield of soybean. *Pedosphere*, 32(3), 438–451. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(21\)60085-1](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(21)60085-1)

54. Kunychak, H., Dutchak, O., & Matviets, N. (2023). Продуктивність сої за різних способів обробітку ґрунту та системи удобрення з елементами біологізації. *Feeds and Feed Production*, 96, 94–101. <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202396-09>

55. Kunychak, H. I., Dutchak, O. V., Matviets, V. H., & Matviets, N. M. (2024). The impact of cultivation technology elements on the productivity of the soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) variety ‘Hoverla’ in the Prykarpattia region. *Plant varieties studying and protection*, 20(3), 153–157. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.20.3.2024.311802>

56. Lee, D., Han, K., Kim, J. H., Jun, T.-H., & Lee, J. S. (2023). Development of Speed-Breeding System for Korean Soybean Varieties [ *Glycine max* a (L.) Merr] Using LED Light Source. *Plant Breeding and Biotechnology*, 11(1), 49–55. <https://doi.org/10.9787/PBB.2023.11.1.49>

57. Li, J. H., Wang, E. T., Chen, W. F., & Chen, W. X. (2008). Genetic diversity and potential for promotion of plant growth detected in nodule endophytic bacteria of soybean grown in Heilongjiang province of China. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(1), 238–246. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.08.014>

58. Liang, Q., Chen, L., Yang, X., Yang, H., Liu, S., Kou, K., Fan, L., Zhang, Z., Duan, Z., Yuan, Y., Liang, S., Liu, Y., Lu, X., Zhou, G., Zhang, M., Kong, F., & Tian, Z. (2022). Natural variation of Dt2 determines branching in

soybean. *Nature Communications*, 13(1), 6429. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-34153-4>

59. Lin, F., Chhapekar, S. S., Vieira, C. C., Da Silva, M. P., Rojas, A., Lee, D., Liu, N., Pardo, E. M., Lee, Y.-C., Dong, Z., Pinheiro, J. B., Ploper, L. D., Rupe, J., Chen, P., Wang, D., & Nguyen, H. T. (2022). Breeding for disease resistance in soybean: A global perspective. *Theoretical and Applied Genetics*, 135(11), 3773–3872. <https://doi.org/10.1007/s00122-022-04101-3>

60. Maranna, S., Nataraj, V., Kumawat, G., Chandra, S., Rajesh, V., Ramteke, R., Patel, R. M., Ratnaparkhe, M. B., Husain, S. M., Gupta, S., & Khandekar, N. (2021). Breeding for higher yield, early maturity, wider adaptability and waterlogging tolerance in soybean (*Glycine max* L.): A case study. *Scientific Reports*, 11(1), 22853. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-02064-x>

61. Markovska, O. Ye., Dudchenko, V. V., & Stetsenko, I. I. (2023). Influence of harmful microbiota on sow quality soybean seeds and productivity. *Taurian Scientific Herald*, 129, 95–101. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2023.129.13>

62. Mayhood, P., & Mirza, B. S. (2021). Soybean Root Nodule and Rhizosphere Microbiome: Distribution of Rhizobial and Nonrhizobial Endophytes. *Applied and Environmental Microbiology*, 87(10), e02884-20. <https://doi.org/10.1128/AEM.02884-20>

63. Meyer, F. R., Orioli Júnior, V., Bernardes, J. V. S., & Coelho, V. P. D. M. (2021). Foliar spraying of a seaweed-based biostimulant in soybean. *Revista Caatinga*, 34(1), 99–107. <https://doi.org/10.1590/1983-21252021v34n111rc>

64. Miladinovic, J., Burton, J. W., Tubic, S. B., Miladinovic, D., Djordjevic, V., & Djukic, V. (2011). Soybean breeding: Comparison of the efficiency of different selection methods. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. <https://doi.org/10.3906/tar-1011-1474>

65. Milenko, O. H., & Solomon, Yu. V. (2022). Effectiveness of microfertilizer application for treating soybean seeding material. *Taurian Scientific Herald*, 126, 85–91. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.126.12>

66. Mizernyk, D. (2024). Current state and prospects for soybean cultivation in the world and Ukraine. *Foothill and mountain agriculture and stockbreeding*, 76(1), 36–47. [https://doi.org/10.32636/01308521.2024-\(76\)-1-4](https://doi.org/10.32636/01308521.2024-(76)-1-4)
67. Molla, H. S., Ayele, Z. A., & Zeleke, M. A. (2024). Trends, Opportunities, and Challenges of the Ethiopian Soybean Export Market in the Past Two Decades (2004–2022). *Advances in Agriculture*, 2024(1), 9979892. <https://doi.org/10.1155/2024/9979892>
68. Montanía, C. V., Fernández-Núñez, T., & Márquez, M. A. (2021). The role of the leading exporters in the global soybean trade. *Agricultural Economics (Zemědělská ekonomika)*, 67(7), 277–285. <https://doi.org/10.17221/433/2020-AGRICECON>
69. Morais, T. B. D., Menegaes, J. F., Sanchotene, D., Dorneles, S. B., Melo, A. A., & Swarowsky, A. (2022). Biostimulants Increase Soybean Productivity in the Absence and Presence of Water Deficit in Southern Brazil. *Journal of Agricultural Science*, 14(3), 111. <https://doi.org/10.5539/jas.v14n3p111>
70. Noel, R., Schueller, M. J., Guthrie, J., & Ferrieri, R. A. (2024). Application of Pyroligneous Acid as a Plant Growth Stimulant Can Improve the Nutritional Value of Soybean Seed. *Crops*, 4(4), 447–462. <https://doi.org/10.3390/crops4040032>
71. Noli, Z. A., Suwirmen, Aisyah, & Aliyyanti, P. (2021). Effect of liquid seaweed extracts as biostimulant on vegetative growth of soybean. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 759(1), 012029. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/759/1/012029>
72. Omari, R. A., Yuan, K., Anh, K. T., Reckling, M., Halwani, M., Egamberdieva, D., Ohkama-Ohtsu, N., & Bellingrath-Kimura, S. D. (2022). Enhanced Soybean Productivity by Inoculation With Indigenous Bradyrhizobium Strains in Agroecological Conditions of Northeast Germany. *Frontiers in Plant Science*, 12, 707080. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.707080>

73. Pantsyreva, H., & Mazur, K. (2022). *Research of early rating soybean varieties on technology and agroecological resistance*. Publishing House “Baltija Publishing”. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-195-4>
74. Pelekh, L. (2021). Influence of cultivation technology elements on the formation of soybean productivity in the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe. *Agriculture and Forestry*, 2, 109–119. <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2021-2-9>
75. Peretiatko, S. H., & Rudik, O. L. (2021). The current state and applied aspects of the development prospects of soybean production in Ukraine. *Interagency thematic scientific collection «Irrigated agriculture»*, 76, 49–53. <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2021.76.10>
76. Prando, A. M., Barbosa, J. Z., Oliveira, A. B. D., Nogueira, M. A., Possamai, E. J., & Hungria, M. (2024). Benefits of soybean co-inoculation with *Bradyrhizobium* spp. and *Azospirillum brasilense*: Large-scale validation with farmers in Brazil. *European Journal of Agronomy*, 155, 127112. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2024.127112>
77. Ratoszniuk, V., Savchuk, O., & Ratoszniuk, V. (2023). Peculiarities of formation of soybean productivity on soddy podzolic soil in lysimeter studies. *Visnyk agrarnoi nauky*, 101(7), 5–13. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202307-01>
78. Rebollo-Hernanz, M., Bringe, N. A., & Gonzalez De Mejia, E. (2022). Selected Soybean Varieties Regulate Hepatic LDL-Cholesterol Homeostasis Depending on Their Glycinin:β-Conglycinin Ratio. *Antioxidants*, 12(1), 20. <https://doi.org/10.3390/antiox12010020>
79. Rodríguez-Navarro, D. N., Margaret Oliver, I., Albareda Contreras, M., & Ruiz-Sainz, J. E. (2011). Soybean interactions with soil microbes, agronomical and molecular aspects. *Agronomy for Sustainable Development*, 31(1), 173–190. <https://doi.org/10.1051/agro/2010023>
80. Sankhala, J., Waktaliya, A., Raghuvanshi, R., Shende, R. T., Maske, G., & Barman, D. (2024). Harnessing Biostimulants to Mitigate Abiotic Stress in

Soybean Production: An Overview. *Journal of Scientific Research and Reports*, 30(12), 53–65. <https://doi.org/10.9734/jsrr/2024/v30i122650>

81. Serafin-Andrzejewska, M., Jama-Rodzeńska, A., Helios, W., Kozak, M., Lewandowska, S., Zalewski, D., & Kotecki, A. (2024). Influence of nitrogen fertilization, seed inoculation and the synergistic effect of these treatments on soybean yields under conditions in south-western Poland. *Scientific Reports*, 14(1), 6672. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-57008-y>

82. Shelest M., Kalnaguz A., Datsko O., Zakharchenko E., Zubko V. (2023). System of pre-sowing seed inoculation. *Scientific Horizons*. Vol. 26(7). Article 7. <https://doi.org/10.48077/scihor7.2023.140>

83. Sheteiwy, M. S., Abd Elgawad, H., Xiong, Y., Macovei, A., Brestic, M., Skalicky, M., Shaghaleh, H., Alhaj Hamoud, Y., & El-Sawah, A. M. (2021). Inoculation with *Bacillus amyloliquefaciens* and mycorrhiza confers tolerance to drought stress and improve seed yield and quality of soybean plant. *Physiologia Plantarum*, 172(4), 2153–2169. <https://doi.org/10.1111/ppl.13454>

84. Sobko, M. G., Butenko, A. O., & Danylchenko, O. M. (2021). Agroecological adaptability and suitability of growing soybean varieties of different maturity groups. *Interagency thematic scientific collection «Irrigated agriculture»*, 75, 89–95. <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2021.75.17>

85. Sohn, S.-I., Ahn, J.-H., Pandian, S., Oh, Y.-J., Shin, E.-K., Kang, H.-J., Cho, W.-S., Cho, Y.-S., & Shin, K.-S. (2021). Dynamics of Bacterial Community Structure in the Rhizosphere and Root Nodule of Soybean: Impacts of Growth Stages and Varieties. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(11), 5577. <https://doi.org/10.3390/ijms22115577>

86. Solomiychuk, M., & Pikovskyi, M. (2021). Influence of biostimulants and biostimulating complexes on the growth and development of soybeans in the Western Forest-steppe of Ukraine. *Interdepartmental Thematic Scientific Collection of Plant Protection and Quarantine*, 67, 251–269. <https://doi.org/10.36495/1606-9773.2021.67.251-269>

87. Subramanian, P., Kim, K., Krishnamoorthy, R., Sundaram, S., & Sa, T. (2015). Endophytic bacteria improve nodule function and plant nitrogen in soybean on co-inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* MN110. *Plant Growth Regulation*, *76*(3), 327–332. <https://doi.org/10.1007/s10725-014-9993-x>
88. Szpunar-Krok, E., Bobrecka-Jamro, D., Piķuła, W., & Jańczyk-Pieniążek, M. (2023). Effect of Nitrogen Fertilization and Inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* on Nodulation and Yielding of Soybean. *Agronomy*, *13*(5), 1341. <https://doi.org/10.3390/agronomy13051341>
89. Tariq, M., Tahreem, N., Zafar, M., Raza, G., Shahid, M., Zunair, M., Iram, W., & Zahra, S. T. (2024). Occurrence of diverse plant growth promoting bacteria in soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] root nodules and their prospective role in enhancing crop yield. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, *57*, 103072. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2024.103072>
90. Teixeira, F. G., Hamawaki, O. T., Nogueira, A. P. O., Hamawaki, R. L., Jorge, G. L., Hamawaki, C. L., Machado, B. Q. V., & Santana, A. J. O. (2017). Research Article Genetic parameters and selection of soybean lines based on selection indexes. *Genetics and Molecular Research*, *16*(3). <https://doi.org/10.4238/gmr16039750>
91. Tian, Z., Wang, X., Lee, R., Li, Y., Specht, J. E., Nelson, R. L., McClean, P. E., Qiu, L., & Ma, J. (2010). Artificial selection for determinate growth habit in soybean. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *107*(19), 8563–8568. <https://doi.org/10.1073/pnas.1000088107>
92. Tkachuk, O., Pantsyreva, H., Kupchuk, I., & Volynets, Y. (2024). Soybean Productivity of the Ukraine under Ecologization of Cultivation Technology. *Journal of Ecological Engineering*, *25*(5), 279–293. <https://doi.org/10.12911/22998993/186494>
93. Tu, T.-C., Lin, S.-H., & Shen, F.-T. (2021). Enhancing Symbiotic Nitrogen Fixation and Soybean Growth through Co-Inoculation with *Bradyrhizobium* and *Pseudomonas* Isolates. *Sustainability*, *13*(20), 11539. <https://doi.org/10.3390/su132011539>

94. Viana, J. S., De Oliveira, J. F. F., Gonçalves, E. P., Silva, M. A. D. D., Borges, J. P. G. D. S., Melo, L. D. F. D. A., Silva, J. C. D. A., Lima, J. J. P., & Junior, J. L. D. A. M. (2023). *Does the use of phytostimulants and the cutting times influence the productivity of the soybean crop?* <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3121942/v1>
95. Vieira, C. C., & Chen, P. (2021). The numbers game of soybean breeding in the United States. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, *21*(spe), e387521S10. <https://doi.org/10.1590/1984-70332021v21sa23>
96. Wang, Y., Li, Z., Chen, X., Gu, Y., Zhang, L., & Qiu, L. (2022). An efficient soybean transformation protocol for use with elite lines. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, *151*(3), 457–466. <https://doi.org/10.1007/s11240-022-02312-6>
97. Wei, W., Guan, D., Ma, M., Jiang, X., Fan, F., Meng, F., Li, L., Zhao, B., Zhao, Y., Cao, F., Chen, H., & Li, J. (2023). Long-term fertilization coupled with rhizobium inoculation promotes soybean yield and alters soil bacterial community composition. *Frontiers in Microbiology*, *14*, 1161983. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1161983>
98. Win, K. T., Tanaka, F., Minamisawa, K., & Imaizumi-Anraku, H. (2024). Growth and Yield Dynamics in Three Japanese Soybean Cultivars with Plant Growth-Promoting *Pseudomonas* spp. And *Bradyrhizobium ottawaense* Co-Inoculation. *Microorganisms*, *12*(7), 1478. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12071478>
99. Zabarna, T., & Cheresnyuk, V. (2024). Agro-ecological aspects of soybean (*Glycine max* L.) cultivation in Ukraine. *Agroecological journal*, *1*, 108–116. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2024.299945>
100. Zhang, W., Mao, G., Zhuang, J., & Yang, H. (2023). The co-inoculation of *Pseudomonas chlororaphis* H1 and *Bacillus altitudinis* Y1 promoted soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] growth and increased the relative abundance of beneficial microorganisms in rhizosphere and root. *Frontiers in Microbiology*, *13*, 1079348. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1079348>

## РОЗДІЛ 2

### УМОВИ, МАТЕРІАЛ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 2.1. Оцінка кліматичних та ґрунтових умов дослідного поля

Вивчення впливу досліджуваного біодобрива проводилось в умовах Інституту сільського господарства Північного Сходу НААН. Дослідна ділянка розташовувалась на полі, де ґрунт ідентифікується як чорнозем типовий малогумусний слабовилугуваний крупнопилувато-середньосуглинковий на лесі із вмістом гумусу 4,6%, а  $pH_{KCl}$  – 5,5. Вміст основних макроелементів у ґрунті наведений у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Вміст доступних форм макроелементів на досліджуваній ділянці

Показник	Кількість, мг/100 г ґрунту
Азот легкогідрозований (Корнфілд)	14,2
Фосфор рухомий	19,3
Калій обмінний	8,1

З даних, що наведені вище можна зробити висновок, що досліджувана ділянка має неоднорідний рівень забезпеченості основними макроелементами. Вміст легкогідролізованого азоту (14,2 мг/100 г) характеризується як низький, що може бути лімітуючим фактором для інтенсивного росту культур.

Забезпеченість рухомим фосфором (19,3 мг/100 г) є високою, що створює сприятливі умови для розвитку кореневої системи та енергетичного обміну рослин. Водночас, вміст обмінного калію (8,1 мг/100 г) за даними аналізу є середнім, що потребує врахування при плануванні системи калійного живлення.

Для Сумського району характерний вологий континентальний клімат із помірно теплим літнім періодом та рівномірним розподілом атмосферних

опадів протягом року. Тривалість вегетації для основних сільськогосподарських культур становить 197–204 дні. Показник суми ефективних температур (понад 5°C) варіюється від 2770 до 3070°C, а середньорічний рівень опадів, згідно з даними Кравченка та Адаменко (2012), сягає 550–650 мм.

Детальний аналіз кліматичних умов за даними метеостанції, що розташована на теренах Інституту показує наступну динаміку. Метеорологічні умови вегетаційного періоду 2023 року (Рис. 2.1.) свідчить про специфічний, проте загалом сприятливий для органогенезу сої гідротермічний режим.

Характерною особливістю сезону стало прогресивне зростання середньомісячних температур повітря, що корелювало з фазами розвитку культури: від помірного прогрівання у березні-квітні до температурного максимуму у серпні, який перевищив 22°C. Попри виражений дефіцит атмосферних опадів у травні (менше 20 мм), що могло сповільнити початкові етапи вегетації, подальша динаміка зволоження демонструвала стійку тенденцію до зростання.

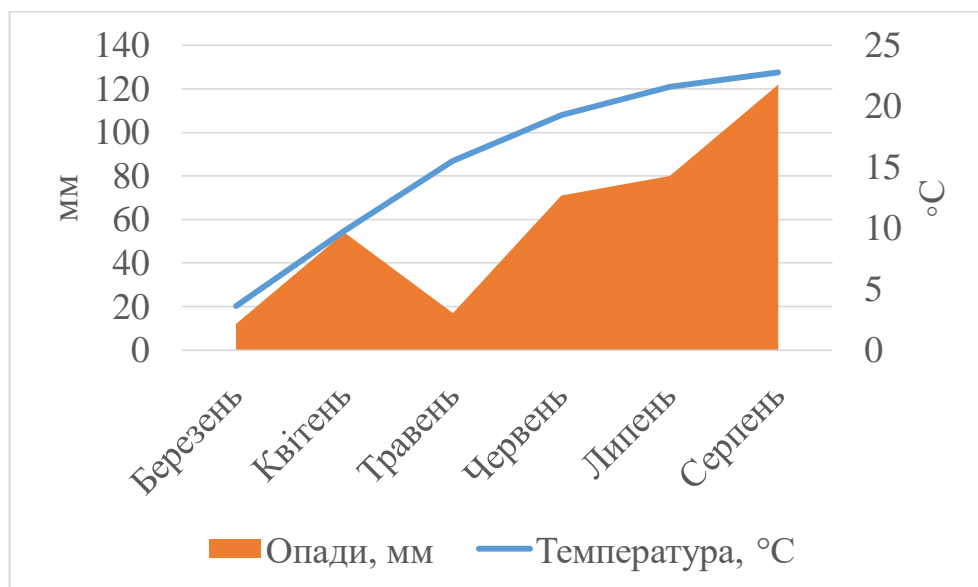


Рисунок 2.1. Кліматичні умови 2023 р. (метеостанція с. Сад, Сумський район, Сумська область)

Особливу цінність для формування продуктивності посівів мало інтенсивне випадіння опадів у липні та серпні (до 120 мм), що збіглося з критичними фазами цвітіння та наливу бобів. Таке поєднання пікових температур із максимальним рівнем вологозабезпечення у другій половині літа створило оптимальні умови для реалізації генетичного потенціалу сої, що є нетиповим, але позитивним фактором для умов континентального клімату Сумського району.

Аналіз метеорологічних умов вегетаційного періоду 2024 року (Рис. 2.2) свідчить про значні температурні аномалії та суттєвий дефіцит вологи, що стало серйозним викликом для вирощування сої. На відміну від попереднього сезону, температурна крива 2024 року демонструвала стрімке зростання вже з ранньовесняного періоду, досягнувши пікових значень у липні, коли стовпчики термометрів долали позначку 22°C.

Гідротермічний режим цього року характеризувався критично нерівномірним розподілом опадів: якщо у квітні спостерігалось активне зволоження (понад 50 мм), то травень та особливо серпень відзначилися екстремальною посухою. Рекордно низька кількість опадів у серпні на тлі аномальної спеки призвела до суттєвого водного дефіциту в період наливу зерна, що, згідно з агрометеорологічними даними, спричинило прискорене дозрівання культури та потенційне зниження її продуктивності порівняно з оптимальними роками.

Таким чином, вегетація сої у 2024 році проходила в умовах жорсткого температурного стресу та браку продуктивної вологи у критичні фази розвитку.

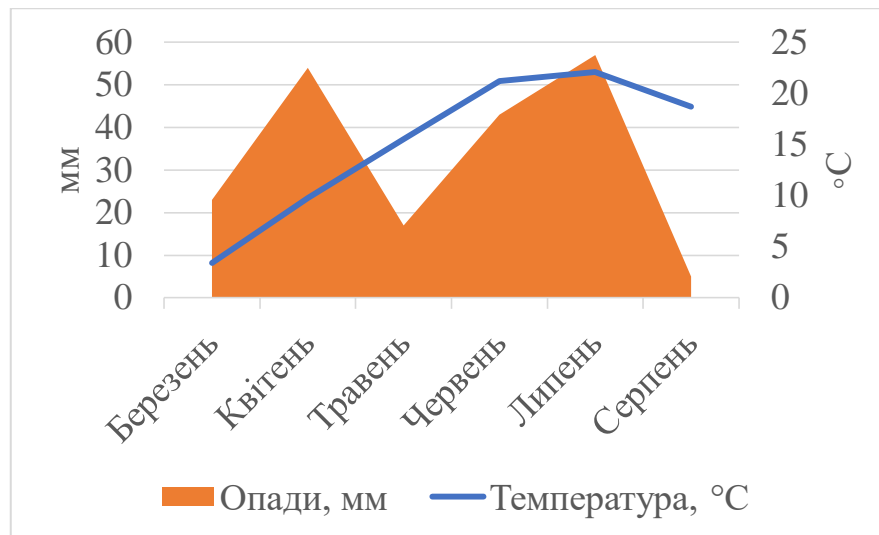


Рисунок 2.2. Кліматичні умови 2024 р. (метеостанція с. Сад, Сумський район, Сумська область)

Гідротермічний режим вегетаційного періоду 2025 року (Рис. 2.3) характеризувався аномально високим рівнем теплозабезпечення на тлі помірного, але достатнього зволоження у критичні фази розвитку сої. Згідно з отриманими даними, 2025 рік визначено як найтепліший за весь період спостережень із середньорічною температурою 11,1°C. Динаміка температурного режиму демонструвала стабільне зростання від 11,2°C у березні до максимальних значень у червні (24,0°C), що супроводжувалося поступовим збільшенням кількості опадів від 30 мм на початку сезону до пікових 75 мм у червні.

Особливістю року стало суттєве перевищення сум ефективних температур відносно середніх багаторічних показників, що прискорило темпи проходження фенологічних фаз культури. Попри зниження інтенсивності опадів у серпні до 10 мм, значні запаси вологи, сформовані у червні-липні (75 та 58 мм відповідно), у поєднанні з високою сонячною інсоляцією забезпечили сприятливі умови для накопичення сухої речовини та формування врожаю.

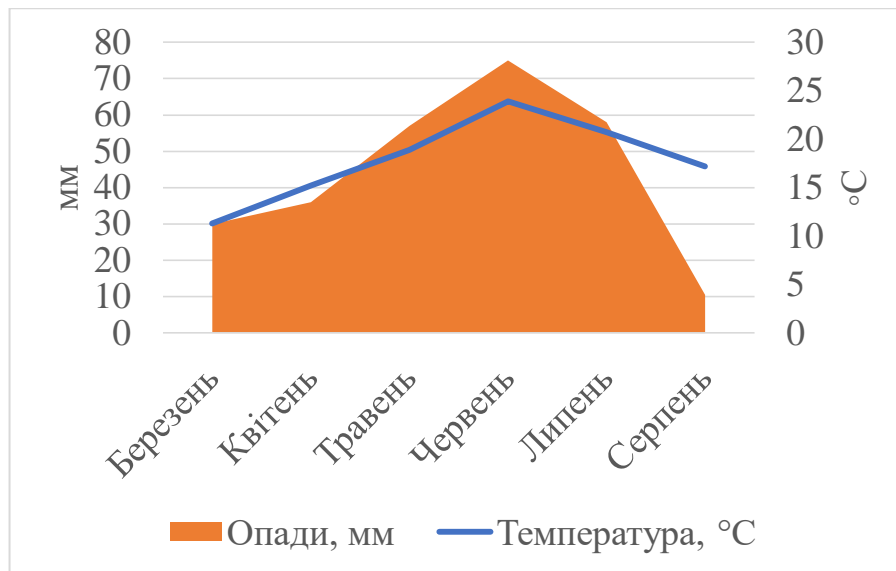


Рисунок 2.3. Кліматичні умови 2025 р. (метеостанція с. Сад, Сумський район, Сумська область)

Узагальнюючий аналіз середніх гідротермічних показників за трирічний період досліджень (2023–2025 рр.), представлений на рисунку 2.4, дозволяє охарактеризувати кліматичний тренд Сумського району як помірно-континентальний із вираженою тенденцією до потепління та стабільним літнім зволоженням.

Середньобогаторічна динаміка температурного режиму демонструє плавне наростання теплових ресурсів від березневих  $6,2^{\circ}\text{C}$  до пікових  $22,5^{\circ}\text{C}$  у липні, що повністю відповідає біологічним потребам сої на етапах цвітіння та бобоутворення.

Режим зволоження за середніми даними має характерну «двогорбу» криву: перший локальний максимум опадів припадає на квітень (близько 48 мм), забезпечуючи сприятливі стартові умови для сівби, тоді як головний пік вологозабезпечення фіксується у червні-липні (63-65 мм).

Такий розподіл опадів у середині літа є критично важливим фактором стабільності врожаю, оскільки він дозволяє нівелювати періодичні температурні стреси.

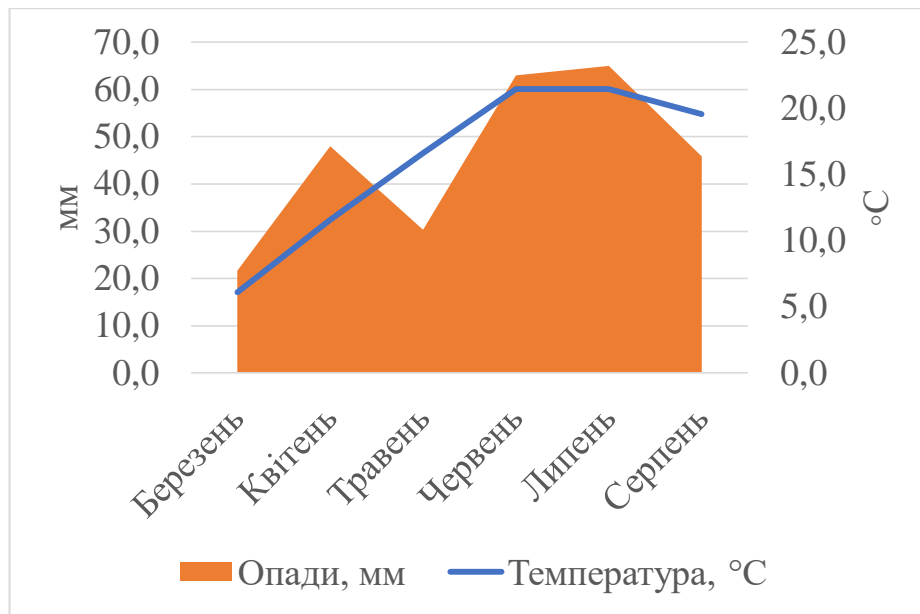


Рисунок 2.4. Середні дані кліматичних умови 2023–2025 рр. (метеостанція с. Сад, Сумський район, Сумська область)

Підсумовуючи аналіз агрокліматичних та едафічних умов проведення досліджень, слід зазначити, що поєднання природних властивостей чорнозему типового із вологим континентальним кліматом Сумського району створює належне підґрунтя для вирощування сої, проте диктує необхідність корекції системи живлення. Виявлений низький рівень забезпеченості ґрунту легкогідролізованим азотом (14,2 мг/100 г) на тлі середнього вмісту калію підкреслює актуальність застосування біодобрив для оптимізації азотного обміну.

Водночас, мозаїчність погодних умов протягом 2023–2025 рр. – від оптимального зволоження у 2023 р. до жорсткого гідротермічного стресу у 2024 р. та температурних рекордів 2025 р. – дозволяє об'єктивно оцінити адаптивний потенціал досліджуваного біопрепарату.

Таким чином, варіативність метеорологічних чинників у роки досліджень у поєднанні з помірною природною родючістю ґрунту забезпечує репрезентативність отриманих даних щодо ефективності біостимуляції посівів сої в умовах Північного Сходу України.

## 2.2. Характеристика досліджуваного сорту та біодобрив

Об'єктом досліджень слугував сорт сої Сіверка (оригінація – НААН України), який у 2013 році був внесений до Державного реєстру сортів рослин. Даний сорт належить до маньчжурського підвиду (апробаційна група *lucida*) та характеризується як скоростиглий із тривалістю вегетаційного періоду 95–97 діб. Рослини мають проміжний тип росту, досягають висоти 87–95 см та вирізняються сірим опушенням і білим забарвленням квіток. Морфологічною особливістю сорту є формування слабо зігнутих бобів із висотою прикріплення нижнього вузла на рівні 10–13 см. Насіння Сіверки овальне, жовтого забарвлення з однотонним рубчиком, характеризується масою 1000 зерен у межах 170–175 г. Сорт поєднує високий потенціал врожайності (до 4,0 т/га) із високими показниками якості зерна: вміст білка становить 41–42%, а олії – 20–21%. Завдяки високій стійкості до вилягання, осипання та ураження основними хворобами (8 балів), сорт Сіверка демонструє високу адаптивність до різноманітних ґрунтово-кліматичних умов вирощування, що робить його придатним для використання в умовах Степу та Лісостепу України (Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН, б. д.).

Для стимуляції азотфіксуючого потенціалу та підвищення продуктивності сої у дослідженнях використовували комплексне біодобриво Ризогумін. Даний препарат призначений для передпосівної інокуляції насіння і базується на спеціально підготовленому торф'яному субстраті, що містить життєздатні клітини двох штамів *Bradyrhizobium japonicum* із різною динамікою росту. Склад добрива доповнено біологічно активними речовинами (ауксинами, цитокінінами, амінокислотами та гуміновими кислотами), а також хелатованими мікроелементами та стартовими дозами макроелементів.

Багатофункціональна дія Ризогуміну проявляється у підвищенні енергії проростання насіння, інтенсифікації фотосинтетичних процесів та формуванні потужної кореневої системи з активним бобово-ризобіальним

симбіозом. Важливою перевагою препарату є здатність створювати в ґрунті стабільну «страхову» популяцію ризобій, що забезпечує ефективність інокуляції навіть на ділянках із високою щільністю аборигенних бактерій.

Застосування Ризогуміну дозволяє досягти приросту врожайності зерна сої на рівні 20–25% у ґрунтах із наявною популяцією бульбочкових бактерій та до 30–50% на нових для культури площах. Технологія використання передбачає бактеризацію насіння у день висіву або за 1–2 доби до нього з розрахунку 2 кг препарату на 1 тону насіння. Для приготування робочої суспензії використовують воду без вмісту хлору в обсязі 0,8–1,0% від маси насіння, щоб уникнути передчасного набухання та травмування посівного матеріалу. Регламент застосування допускає поєднання інокуляції з фунгіцидним захистом (наприклад, препаратом Максим XL 035 FS) за умови завчасного протруєння або двократного збільшення дози біопрепарату при одночасній обробці (SuperAgronom.com, б. д.).

Для стимуляції адаптивних властивостей культури та нівелювання негативного впливу абіотичних чинників у дослідженнях використовували багатофункціональний регулятор росту та антистресант Гуміфілд ВР-18 (виробник – «Агротехносоюз»). Препарат представляє собою водну суспензію (в.с.) на основі солей гумінових (180 г/л) та фульвових (20 г/л) кислот, збагачену амінокислотами (25 г/л), калієм та комплексом мікроелементів.

Біологічна ефективність добрива зумовлена високою концентрацією діючих речовин і лужним показником рН (10–11), що сприяє інтенсивному розвитку кореневої системи, покращенню фотосинтетичної активності та накопиченню пластичних речовин у тканинах рослин.

Функціональна перевага Гуміфілду ВР-18 полягає у його універсальності: препарат ефективно застосовується як для передпосівної обробки насіння, так і для позакореневого підживлення сої та інших технічних культур. Його використання забезпечує комплексний антистресовий ефект, підвищуючи опірність рослин до посухи,

температурних коливань та пестицидного навантаження, що зрештою трансформується у покращення якісних та кількісних показників урожаю. Завдяки високій сумісності з основними засобами захисту рослин та сертифікації для органічного виробництва, цей препарат є ключовим елементом сучасних енергозберігаючих технологій вирощування (Agrolife, б. д.).

### **2.3. Структура польового досліджу та методика наукових спостережень**

Для систематизації наукового пошуку було розроблено двофакторну схему польового експерименту, яка передбачає вивчення синергічної дії передпосівної підготовки насіння та позакорневих підживлень на продуктивність сої.

Фактор А охоплює різні підходи до передпосівної обробки: використання мікробного інокулянту на основі ризобій та стимулятора росту гуматної природи.

Фактор В включає поетапне застосування регуляторів росту та комплексних добрив у критичні фази органогенезу (бутонізація та налив бобів). Такий підхід дозволяє встановити найбільш ефективні комбінації препаратів для оптимізації азотного живлення та посилення стресостійкості рослин у динамічних кліматичних умовах Сумського району.

У таблиці 2.2. наведено детальну схему проведення досліджень. Методологічну базу наукової роботи склали рекомендації Єщенка В. О. та співавторів (2005), згідно з якими було здійснено планування експерименту, просторове розміщення дослідних ділянок та безпосередню реалізацію всіх етапів польового досліджу.

Агротехніка вирощування сої в межах польового експерименту базувалася на загальноприйнятих для північно-східного Лісостепу України технологічних картах.

Таблиця 2.2

## Схема проведення польових досліджень

Код варіанта	Фактор А: Обробка насіння	Фактор В: Обробка по вегетації
A0B1	Контроль 1 (вода)	Без обробки (контроль)
A0B2	Контроль 1 (вода)	Гуміфілд ВР-18 (0,4 л/га) – фаза бутонізації
A0B3	Контроль 1 (вода)	Фульвігрін Бор (0,5 л/га) – фаза наливу бобів
A0B4	Контроль 1 (вода)	Гуміфілд ВР-18 (бутонізація) + Фульвігрін Бор (налив бобів)
A1B1	Ризогумін (2 кг/т)	Без обробки
A1B2	Ризогумін (2 кг/т)	Гуміфілд ВР-18 (0,4 л/га) – фаза бутонізації
A1B3	Ризогумін (2 кг/т)	Фульвігрін Бор (0,5 л/га) – фаза наливу бобів
A1B4	Ризогумін (2 кг/т)	Гуміфілд ВР-18 (бутонізація) + Фульвігрін Бор (налив бобів)
A2B1	Гуміфілд ВР-18 (0,8 л/т)	Без обробки
A2B2	Гуміфілд ВР-18 (0,8 л/т)	Гуміфілд ВР-18 (0,4 л/га) – фаза бутонізації
A2B3	Гуміфілд ВР-18 (0,8 л/т)	Фульвігрін Бор (0,5 л/га) – фаза наливу бобів
A2B4	Гуміфілд ВР-18 (0,8 л/т)	Гуміфілд ВР-18 (бутонізація) + Фульвігрін Бор (налив бобів)

Як попередник використовували зернові колосові культури, після збирання яких проводили комплексний основний обробіток ґрунту, що включав дискування на глибину 8–10 см та подальшу зяблеву оранку на 22–25 см. Весняний цикл робіт розпочинали із закриття вологи агрегатом МТЗ-892 із боронами ЗБТУ-1,0, після чого здійснювали передпосівну культивування на глибину 6–8 см із одночасним прикочуванням для створення щільного ложа та забезпечення рівномірної заробки насіння.

Посівні та облікові площі під кожним варіантом становили по 100 м<sup>2</sup>, причому закладання досліду здійснювали систематичним методом у чотириразовій повторності з односмуговим розміщенням. Сівбу сої виконували суцільним способом за допомогою сівалки СС-16, дотримуючись норми висіву 0,850 млн схожих насінин на гектар. За двадцять діб до початку посівних робіт насіннєвий матеріал проходив фунгіцидний захист препаратом Максим XL 035 FS у нормі 1 л/т. Безпосередньо у день сівби насіння контрольного варіанта зволожували водою, тоді як у дослідних групах проводили інокуляцію Ризогуміном або стимуляцію Гуміфілдом ВР-18 відповідно до схеми. Подальше позакореневе підживлення вегетуючих рослин Гуміфілдом ВР-18 та Фульвігріном Бор здійснювали у фазах бутонізації та наливу бобів згідно з регламентованими нормами концентрації робочого розчину.

Процес спостереження за об'єктом дослідження охоплював вивчення впливу зазначених препаратів на біологічні та продукційні показники сої. Фенологічний моніторинг проводили за методиками Держсортівипробування та кормовиробництва, фіксуючи початок фаз при настанні у 10% рослин та повну фазу – у 75%. Оцінку густоти стояння посівів виконували двічі: після появи повних сходів та перед збиранням урожаю. Особливу увагу приділяли формуванню симбіотичного апарату, для чого методом ґрунтових монолітів розміром 25×25×30 см відбирали зразки кореневої системи. Після промивання визначали кількість та масу активних бульбочок на п'яти модельних рослинах з кожної повторності.

Перед початком жнив здійснювали відбір пробних снопів для проведення детального структурного аналізу індивідуальної продуктивності. Збирання основної маси зерна проводили прямим комбайнуванням за допомогою техніки "Massey Ferguson" у період повної стиглості при вологості насіння 14–15%, яку контролювали вологоміром "Wile 55". Поділянковий облік врожаю доповнювали лабораторними аналізами, що

включали визначення маси 1000 зерен згідно з ДСТУ 2949, а також оцінку вмісту білка за методом Кьельдаля та жиру за методом Сокслета.

Статистичну надійність отриманих експериментальних даних підтверджували методом дисперсійного аналізу з використанням спеціалізованого програмного забезпечення Excel та Statistica 6.0. Для оцінки економічної доцільності впровадження досліджуваних технологічних заходів проводили розрахунок витрат на основі фактичних технологічних карт вирощування сої.

## **Висновки до розділу 2**

1. Дослідження проводилися на чорноземах типових малогумусних, які характеризуються близькою до нейтральної реакцією ґрунтового розчину ( $\text{pH}_{\text{KCl}} = 5,5$ ) та достатнім вмістом гумусу (4,6%). Едафічні умови дослідної ділянки відзначаються високим вмістом рухомого фосфору, середнім рівнем обмінного калію та низькою забезпеченістю легкогідролізованим азотом, що обґрунтовує доцільність застосування інокулянтів та азотфіксуючих біопрепаратів.

2. Метеорологічні умови протягом 2023–2025 рр. характеризувалися значною мінливістю, що дозволило комплексно оцінити адаптивність сої. Якщо 2023 рік був сприятливим за зволоженням у критичні фази, то 2024 рік відзначився жорсткою серпневою посухою на тлі температурних аномалій, а 2025 рік став найтеплішим за період спостережень, що в сукупності забезпечило репрезентативність експериментальних даних щодо стресостійкості культури.

3. Об'єктом досліджень слугував скоростиглий сорт сої Сіверка (вегетаційний період 95–97 діб), який володіє високим генетичним потенціалом врожайності (до 4,0 т/га) та вмістом білка (41–42%). Морфологічні особливості сорту, зокрема висота прикріплення нижнього бобу (10–13 см) та стійкість до вилягання на рівні 8 балів, відповідають вимогам сучасних технологій прямого комбайнування.

4. Науково обґрунтовано схему двофакторного польового досліджу, яка включає вивчення передпосівної інокуляції (Ризогумін) та стимуляції (Гуміфілд ВР-18) у поєднанні з позакореневим підживленням вегетуючих рослин антистресантами та борвмісними добривами у фази бутонізації та наливу бобів.

5. Методологія досліджень передбачала застосування системного підходу: від проведення фенологічних спостережень і біометричних обліків до детального аналізу формування симбіотичного апарату методом ґрунтових монолітів. Статистична обробка результатів методами дисперсійного аналізу та розрахунок економічної ефективності гарантують достовірність наукових положень та практичних рекомендацій.

### **Використані джерела**

1. Agrolife. (б. д.). *Гуміфілд ВР-18 регулятор росту (Агротехносоюз)*. Отримано з <https://agrolife.ua/ua/gumifild-vr-18-reguljator-rostu-agrotehnosojuz.html>
2. SuperAgronom.com. (б. д.). *Сіверка (НААН України)*. Насіння зернобобових: соя. Отримано з <https://superagronom.com/nasinnya-zernobobovi-soya/siverka-naan-ukrayini-id12166>
3. Єщенко, В. О., Копитко, П. Г., Опришко, В. П., Костогриз, П. В. (2005). *Основи наукових досліджень в агрономії: підручник за ред. Єщенко, В. О.* Київ: Дія, 226-229.
4. Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН. (б. д.). *Ризогумін (торф'яний) для сої*. Отримано з <https://ismav.com.ua/produksiya/biopreparati-dlya-roslinnictva/rizogumin-torfyaniy-soya/>
5. Кравченко, З. П., & Адаменко, Т. І. (2012). *Агрокліматичний довідник по Сумській області. Довідкове видання. Кам'янець-Подільський: Друкарня Рута, 176.*

## РОЗДІЛ 3

### АГРОБІОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ІНОКУЛЯЦІЇ ТА ПОЗАКОРЕНЕВОГО ПІДЖИВЛЕННЯ СОЇ

#### 3.1. Вплив біопрепаратів та регуляторів росту на кількість бульбочок у сої сорту Сіверка

Проблема залучення «ендогенного» азоту в агроєкосистеми шляхом активізації природних механізмів азотфіксації є однією з найбільш фундаментальних задач сучасного рослинництва. В умовах стрімкої трансформації аграрного сектору, спрямованої на підвищення екологічної безпеки та економічної окупності, мінімізація використання синтетичних мінеральних добрив стає не лише екологічною вимогою, а й економічною необхідністю. Як зазначають Datsko et al. (2025), вектор світового агровиробництва зміщується в бік концепції сталого розвитку, де приріст врожайності досягається не за рахунок хімізації, а через оптимізацію біологічного потенціалу культур та ґрунтової мікрофлори.

Динамічний розвиток ринку мікробіологічних засобів (Дацько, 2021; Guo et al., 2022; Rebollo-Hernanz et al., 2022) відкриває нові перспективи для інтеграції в технологічні карти вирощування сої продуктів на основі високоактивних штамів мікроорганізмів, мікоризних грибів та меліорантів нового покоління, таких як біочар (Clough et al., 2013; Cai et al., 2021; Lin et al., 2022). Такі засоби дозволяють суттєво покращити коефіцієнт використання мінеральних речовин із ґрунту та внесених добрив, забезпечуючи при цьому пролонговану родючість ґрунту.

Аналіз світового та вітчизняного досвіду свідчить, що ефективність біологічних агентів детермінується сукупністю кліматичних факторів та регламентом їх застосування. Наприклад, у Правобережному Лісостепу максимальна реалізація продуктивності сорту Медісон (до 4,05 т/га) була досягнута за комплексного поєднання інокуляції (Різолайн), мікоризації (Мікофренд) та мобілізації важкодоступних сполук фосфору й калію

(Граундфікс). Такий підхід забезпечив формування до 42,1 бобів на рослині з достовірним приростом врожайності на рівні 18% (Tsyhanskyi, 2021). Дослідження Didur & Tsyhanskyi (2023) підтверджують, що біологізація живлення є ключовим важелем впливу на фотосинтетичний апарат: поєднання ґрунтового біодобрива Граундфікс із передпосівною інокуляцією на фоні мінерального добрива  $N_{60}P_{60}K_{60}$  сприяло формуванню асиміляційної поверхні площею понад 40 тис.  $m^2/га$ , що прямо корелювало з чистою продуктивністю фотосинтезу та кінцевим збором зерна.

Особливий науковий інтерес становлять результати досліджень 2023–2025 рр., проведених у специфічних умовах Північно-Східного Лісостепу. Встановлено виражений синергетичний ефект від поєднання передпосівної бактеризації Ризогуміном із багатовекторним позакореневим підживленням. Застосування антистресанта Гуміфілд ВР-18 у фазу бутонізації та борвмісного добрива Фульвігрін Бор у період наливу бобів дозволило досягти врожайності 2,60 т/га, що на 22,1% перевищило показники контрольного варіанта (Trius et al., 2024). У порівнянні з одноосібним використанням стимуляторів, така триступенева схема забезпечила кращу адаптацію культури до гідротермічних коливань сезону.

Додатковим підтвердженням перспективності мікробіологічного методу є дані Дідори et al. (2025), згідно з якими використання ЕМ-препаратів дозволяє накопичити до 242 кг/га біологічного азоту, що фактично замінює значні норми мінеральних азотних добрив і сприяє відновленню біологічної активності ґрунту.

Таким чином, узагальнення наукових даних підтверджує, що вивчення ефективності сучасних інокулянтів та регуляторів росту, зокрема Ризогуміну та препаратів лінійки Гуміфілд, є критично актуальним для розробки енергоощадних технологій вирощування сої сорту Сіверка. Це дозволяє не лише стабілізувати врожайність у мінливих кліматичних умовах, а й суттєво покращити екологічний профіль агровиробництва.

Аналіз результатів досліджень формування симбіотичного апарату сої у фазу бутонізації свідчить про суттєву залежність кількості бульбочок від характеру передпосівної підготовки насіння та подальшого стимулювання рослин. На контрольних варіантах без інокуляції (група А0) зафіксовано мінімальну кількість активних бульбочок на кореневій системі, що зумовлено виключно дією аборигенних штамів ризобій. При цьому навіть за таких умов застосування позакореневого підживлення Гуміфілдом ВР-18 (варіант А0В2) забезпечило незначну позитивну динаміку порівняно з абсолютним контролем, що пояснюється загальним стимулюючим впливом гуматів на ріст кореневої маси та поліпшення трофіки рослин.

Найбільш інтенсивне утворення симбіотичних вузлів спостерігається у варіантах із використанням мікробного препарату Ризогумін (група А1). Встановлено, що бактеризація насіння забезпечує стабільну інтродукцію високоефективних штамів *Bradyrhizobium japonicum*, що призводить до кратного збільшення кількості бульбочок порівняно з варіантами без інокуляції. Характерною особливістю є те, що у фазу бутонізації максимальна кількість симбіотичних утворень фіксується у варіантах А1В2 та А1В4. Це підтверджує синергічну дію інокулянту та гуматної стимуляції: Гуміфілд ВР-18, внесений по вегетації, виступає в ролі антистресанта та активатора обмінних процесів, створюючи оптимальний фізіологічний фон для активного функціонування ризобій.

Варіанти з передпосівною обробкою насіння препаратом Гуміфілд ВР-18 (група А2) займають проміжне положення за показником кількості бульбочок. Хоча гумати безпосередньо не містять бактеріальних клітин, їхній вплив на енергію проростання та розвиток корневих волосків сприяє більш активному заселенню коріння місцевою популяцією ризобій. У фазу бутонізації показники варіантів А2В2 та А2В4 достовірно перевищують контроль, проте поступаються варіантам з інокуляцією Ризогуміном. Таким чином, результати рисунка 3.1 демонструють, що комплексне поєднання

інокуляції з наступним позакореневим підживленням є найбільш дієвим інструментом інтенсифікації азотфіксуючого потенціалу сої сорту Сіверка.

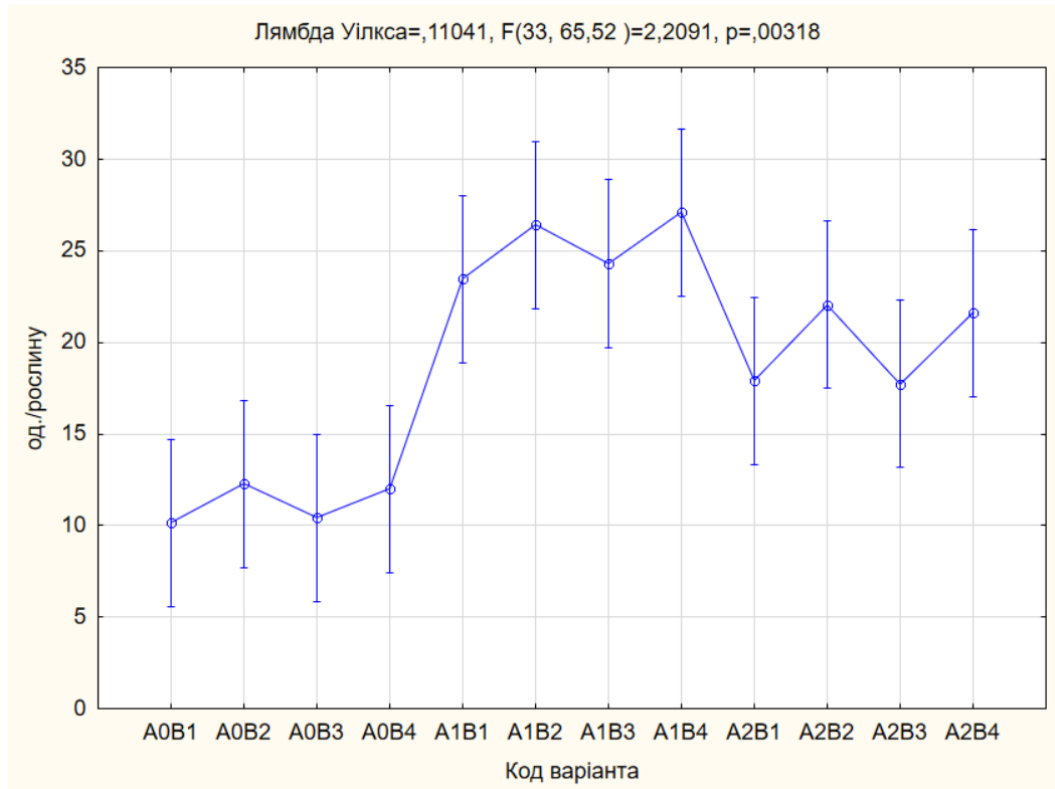


Рис. 3.1. Вплив передпосівної обробки насіння та позакореневого підживлення на кількість бульбочок (од./роślinу) у фазу бутонізації

Аналіз експериментальних даних свідчить, що у фазу цвітіння сої спостерігається пік активності формування бульбочок на кореневій системі, проте їх кількість суттєво варіює залежно від досліджуваних чинників. На контрольних варіантах групи A0 (без інокуляції) зафіксовано найнижчі показники кількості симбіотичних утворень. Це підтверджує, що природна популяція ризобій у ґрунті є недостатньо ефективною для забезпечення потужного симбіозу. Водночас застосування позакореневого підживлення Гуміфілдом ВР-18 у фазу бутонізації (варіант A0B2) забезпечило певне зростання кількості бульбочок порівняно з абсолютним контролем, що вказує на позитивний вплив гуматів на загальний фізіологічний стан рослини та її здатність підтримувати життєдіяльність аборигенної мікрофлори.

Найбільш динамічне зростання кількості бульбочок у фазу цвітіння виявлено у варіантах із передпосівною бактеризацією насіння препаратом Ризогумін (група А1). Пряма інтродукція високоефективних штамів сприяла інтенсивному заселенню кореневої зони, що на рисунку 3.2 відображено максимальними значеннями стовпчикових діаграм. При цьому поєднання інокуляції з наступним обприскуванням рослин Гуміфілдом ВР-18 (варіант А1В2) призвело до додаткового стимулювання вузлоутворення. Це пояснюється тим, що гумати активізують синтез вуглеводів у листках та їх відтік до кореневої системи, забезпечуючи бактерії необхідною енергією для розвитку та фіксації азоту.

Варіанти, де насіння оброблялося лише регулятором росту Гуміфілд ВР-18 (група А2), за кількістю бульбочок перевершували контроль, але поступалися варіантам з інокуляцією. Стимулюючий ефект гуматів у цьому випадку проявився через посилення росту корневих волосків, що збільшило площу контакту для заселення ґрунтовими ризобіями.

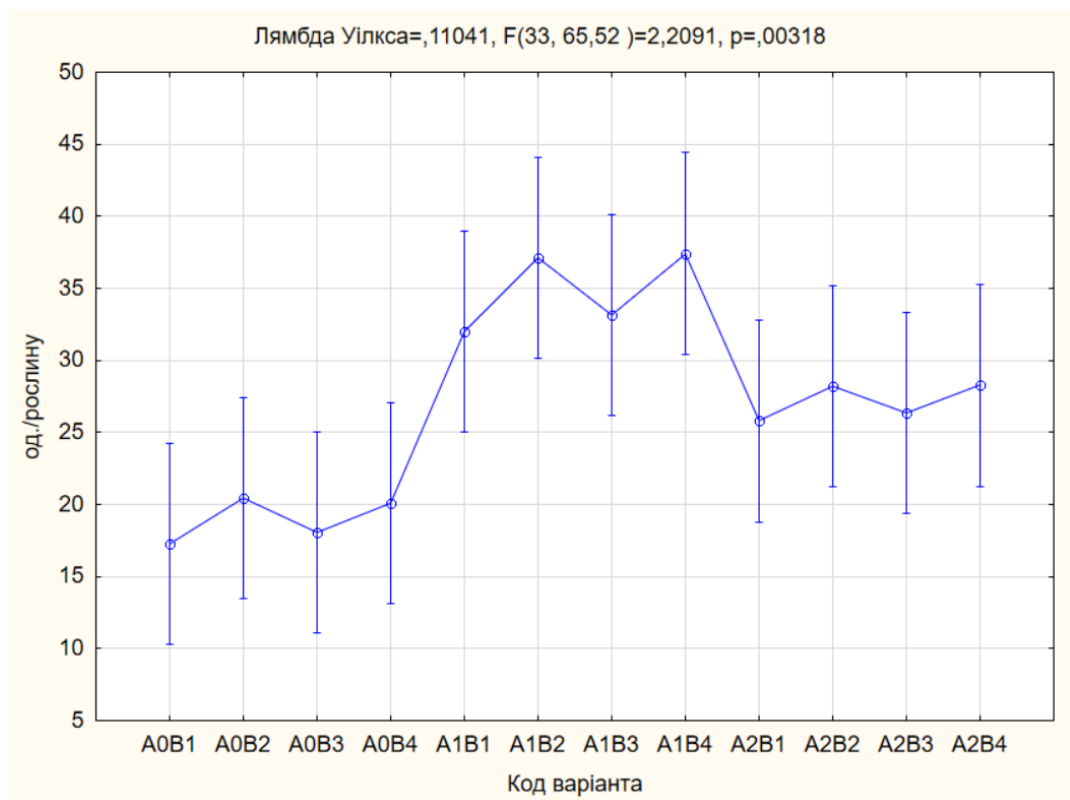


Рис. 3.2. Вплив передпосівної обробки насіння та позакореневого підживлення на кількість бульбочок (од./роsl.) у фазу бутонізації

Особливу увагу привертає варіант А1В4, де комплексний вплив інокулянту та позакореневої стимуляції дозволив зберегти високу кількість активних бульбочок до фази цвітіння, створюючи надійну базу для подальшої реалізації врожайності.

Таким чином, дані рисунка 3.2 демонструють, що саме бактеризація насіння Ризогуміном є визначальним фактором інтенсифікації симбіотичних процесів у сої.

Аналіз експериментальних даних, представлених на рисунку 3.3, свідчить, що у фазу наливу бобів спостерігається природна тенденція до поступового зниження кількості активних бульбочок на кореневій системі сої, проте інтенсивність цього процесу суттєво варіює залежно від варіанта досліду.

На контрольних ділянках (група А0) зафіксовано найбільш стрімку деградацію симбіотичного апарату, що пояснюється переорієнтацією пластичних речовин рослини на формування насіння та низькою конкурентоспроможністю аборигенних ризобій. Натомість варіанти з передпосівною інокуляцією насіння Ризогуміном (група А1) демонструють значно вищу стабільність симбіозу: завдяки високій активності інтродукованих штамів кількість бульбочок залишається на функціонально значущому рівні навіть на пізніх етапах органогенезу.

Особливу роль у пролонгації активності азотфіксації відіграє фактор позакореневого підживлення (Фактор В). Максимальні показники кількості бульбочок у фазу наливу бобів характерні для варіантів А1В3 та А1В4, де інокуляція поєднувалася із застосуванням добрива Фульвігрін Бор. Бор, стимулюючи транспорт цукрів до коренів та зміцнюючи тканини провідних пучків, сприяє кращому живленню бульбочок, що дозволяє сповільнити їх старіння та відмирання.

Подібна, хоча і менш виражена закономірність, простежується і в групі А2 (обробка насіння Гуміфілдом), де використання стимуляторів росту дозволило дещо подовжити період активного функціонування вузликів порівняно з контролем. Таким чином, дані рисунка 3.3 підтверджують, що поєднання мікробних препаратів із борвмісними добривами та гуматами забезпечує сталість симбіотичного апарату сої до кінця вегетації.

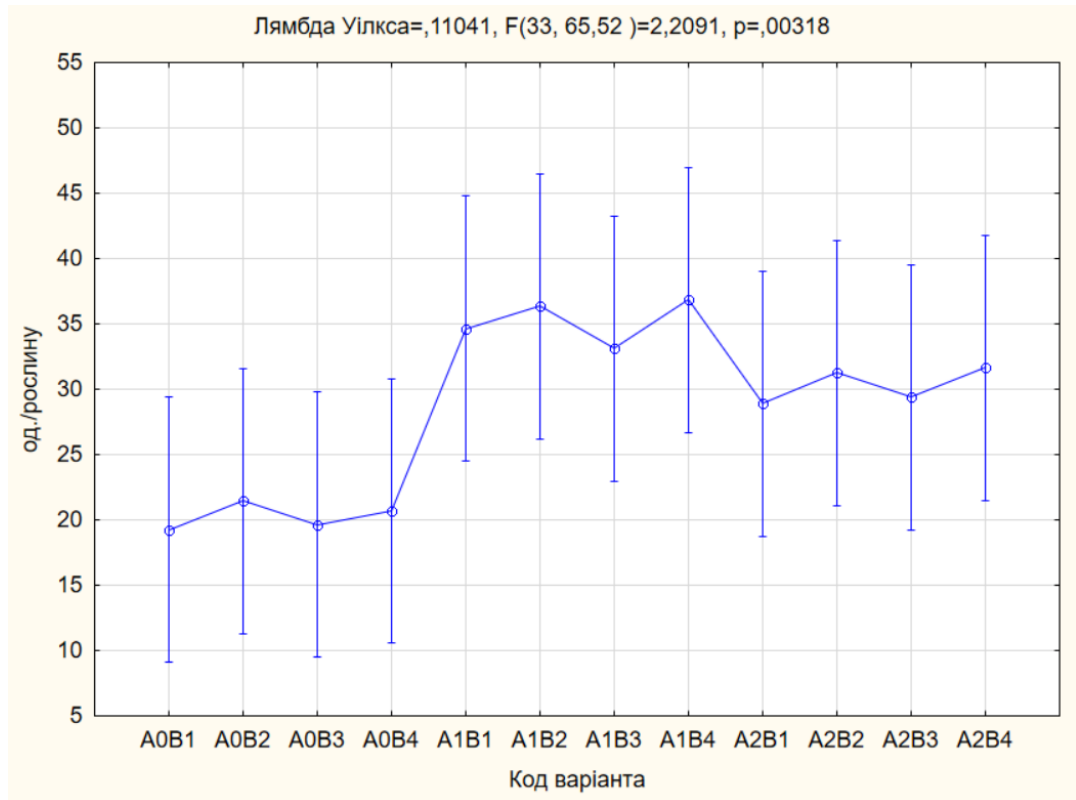


Рис. 3.3. Вплив передпосівної обробки насіння та позакореневого підживлення на кількість бульбочок (од./роsl.) у фазу наливу бобів

Узагальнюючи результати досліджень щодо формування симбіотичного апарату сої сорту Сіверка, слід зазначити, що кількість та динаміка утворення бульбочок протягом вегетаційного періоду знаходяться у прямій залежності від характеру передпосівної підготовки насіння та системи позакорневих підживлень.

Встановлено, що пік симбіотичної активності припадає на фазу цвітіння, після чого у фазу наливу бобів розпочинається поступова деградація

бульбочок, інтенсивність якої визначається рівнем фізіологічного стану рослини.

Визначальним фактором активізації азотфіксації виявилася передпосівна інокуляція насіння Ризогуміном (Фактор А1), яка забезпечила достовірне збільшення кількості бульбочок на всіх етапах органогенезу порівняно з варіантами без інокуляції та обробкою насіння лише гуматами. Позакореневе застосування Гуміфілду ВР-18 у фазу бутонізації та Фульвігрину Бор у фазу наливу бобів (Фактор В) виступило ефективним інструментом пролонгації роботи симбіотичного апарату, сповільнюючи процеси старіння бульбочок та підтримуючи їх функціональну активність у критичні періоди формування врожаю.

Дисперсійний аналіз (Додаток А) та апостеріорне порівняння середніх за критерієм найменшої значущої різниці (НЗР), проведені для кількості бульбочок протягом фенологічних фаз (2023–2025 рр.), підтвердили статистично значущий вплив експериментальних варіантів на цей показник. Ключовим результатом є послідовне зростання міжгрупового середнього квадрата (MS), який відображає варіабельність між варіантами. У фазі бутонізації MS становив 14,694, у фазі цвітіння – 34,382, а у фазі наливу бобів досяг максимального значення – 72,353. Це свідчить про те, що диференціація результатів між експериментальними групами не є сталою, а наростає з розвитком рослин, досягаючи піку саме на пізній репродуктивній фазі.

Аналіз попарних порівнянь за критерієм НЗР, де значущі відмінності позначені  $p < 0,05$ , детально ілюструє цю тенденцію. Якщо у фазі бутонізації значущі відмінності фіксувалися переважно між варіантами з найбільш контрастними показниками (наприклад, Варіант А1 проти А11 чи А12), то у фазі цвітіння кількість значущих різниць істотно зростає. Це вказує на те, що у середині вегетації ефект стимулюючих чи пригнічуючих факторів, закодованих у варіантах, починає проявлятися у повній мірі, відокремлюючи більш ефективні варіанти від менш ефективних.

Максимальна кількість статистично значущих відмінностей була виявлена у фазі наливу бобів, що корелює з максимальним значенням міжгрупового MS. Це підтверджує, що найбільша прогностична та оцінювальна цінність даних припадає саме на кінцевий етап вегетації. Варіанти, які демонструють високу кількість бульбочок у фазі наливу бобів, є найбільш ефективними, оскільки вони не лише сприяли початковому закладанню, але й успішно протидіяли природній регресії бульбочок, що характерна для пізніх стадій розвитку бобових культур. Таким чином, результати ANOVA чітко вказують на фазу наливу бобів як на найбільш репрезентативний період для оцінки ефективності експериментальних впливів.

Найвищу ефективність продемонструвала комплексна схема (варіант A1B4), де поєднання мікробного інокулянту з дворазовим позакореневим підживленням дозволило сформувати найбільш потужний та стабільний симбіотичний апарат. Такий підхід забезпечив не лише максимальну кількість бульбочок у фазі бутонізації та цвітіння, а й сприяв збереженню їх активності до завершальних етапів наливу зерна, що створює необхідні передумови для повної реалізації генетичного потенціалу врожайності сої в умовах Північно-Східного Лісостепу України.

### **3.2. Вплив біопрепаратів та регуляторів росту на масу бульбочок у сої сорту Сіверка**

Важливим критерієм оцінки ефективності бобово-ризобіального симбіозу є не лише кількість сформованих бульбочок, а й їхня маса, оскільки саме цей показник корелює з об'ємом активної азотфіксуючої тканини. Накопичення маси симбіотичного апарату відображає інтенсивність розмноження бактерій у тканинах кореня та рівень забезпечення мікроорганізмів пластичними речовинами з боку рослини-господаря. Враховуючи, що формування врожаю сої сорту Сіверка відбувається в умовах мінливого зволоження Сумського району, вивчення динаміки наростання

сирої маси бульбочок дозволяє встановити функціональну потужність симбіозу на різних етапах органогенезу.

Протягом досліджень 2023–2025 рр. було простежено динаміку цього показника від фази бутонізації до повного наливу бобів. Оскільки маса бульбочок є лабільним параметром, що гостро реагує на дефіцит вологи та температурний стрес, особлива увага приділялася вивченню ролі Гуміфілду ВР-18 як антистресанта та Фульвігріну Бор як активатора транспортних процесів. Поєднання цих регуляторів із мікробним інокулянтом Ризогумін створює специфічні умови для пролонгації активного функціонування симбіотичного апарату, що є критично важливим для реалізації потенціалу швидкості сорту Сіверка.

У даному підрозділі представлено аналіз впливу передпосівної бактеризації та поетапного позакореневого підживлення на формування вагових параметрів азотфіксуючих утворень, що дозволяє глибше зрозуміти механізми реалізації продуктивності культури за екологічно безпечних технологій вирощування.

Результати експериментальних досліджень маси бульбочок на кореневій системі сої сорту Сіверка демонструють чітку кореляцію між ваговими параметрами симбіотичного апарату та характером застосованих препаратів (Рис. 3.4.). У початковій фазі вегетації (бутонізація) найбільший приріст сирої маси спостерігався у варіантах із поєднанням інокуляції Ризогуміном та стартової обробки насіння Гуміфілдом ВР-18, що сприяло формуванню більших за розміром і фізіологічно активніших бульбочок порівняно з контролем. У фазу цвітіння, яка є критичною для накопичення біомаси симбіонтів, варіанти групи А1 (Ризогумін) та А2 (Гуміфілд на насіння) продемонстрували стійке нарощування ваги азотфіксуючої тканини, що забезпечило рослини необхідним біологічним азотом у період максимального споживання поживних речовин.

Особливе значення для стабілізації маси симбіотичного апарату у фазу наливу бобів мало позакореневе підживлення Фульвігріном Бор. Отримані

дані підтверджують, що застосування мікродобрива у поєднанні з антистресантом (варіант A1B4) дозволяє попередити передчасне зниження маси бульбочок, зберігаючи їхню працездатність навіть за умов температурного стресу, характерного для 2024–2025 років. Виявлено, що у варіантах із комплексною обробкою маса активних бульбочок на одну рослину була достовірно вищою, ніж на контролі, що вказує на ефективність синергічної дії інокулянту, гуматів та бору у підтримці високого функціонального статусу азотфіксації протягом усього репродуктивного періоду.

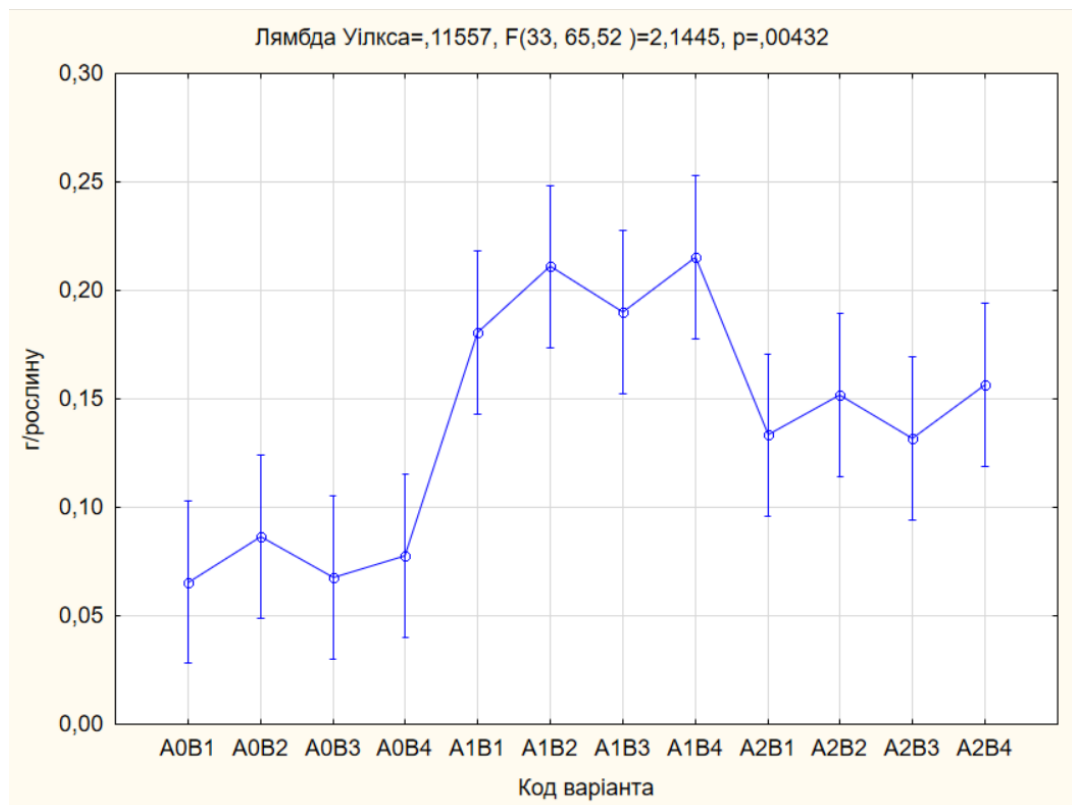


Рис. 3.4. Вплив передпосівної обробки насіння та позакореневого підживлення на масу бульбочок (г/рослину) у фазу бутонізації

Результати експериментальних досліджень, представлені на рисунку 3.5, свідчать, що у фазу цвітіння сої спостерігається інтенсивне нарощування маси симбіотичного апарату, показники якого безпосередньо корелюють із характером застосованих біопрепаратів. На контрольних варіантах групи A0 (без інокуляції) маса бульбочок була мінімальною, що вказує на низьку

активність місцевих штамів ризобій у забезпеченні рослин азотом у цей критичний період. Натомість передпосівна бактеризація насіння Ризогуміном (група А1) забезпечила достовірне збільшення ваги симбіотичних утворень на одну рослину, що пояснюється кращою колонізацією кореневої системи високоефективними бактеріями. Найвищі показники маси бульбочок зафіксовані у варіанті А1В2, де інокуляція поєднувалася з позакореневим внесенням Гуміфілду ВР-18 у фазу бутонізації. У варіантах із обробкою насіння гуматами (група А2) також відмічено позитивну динаміку накопичення маси порівняно з контролем, проте вони поступалися варіантам із прямою інокуляцією за загальною потужністю симбіотичного апарату.

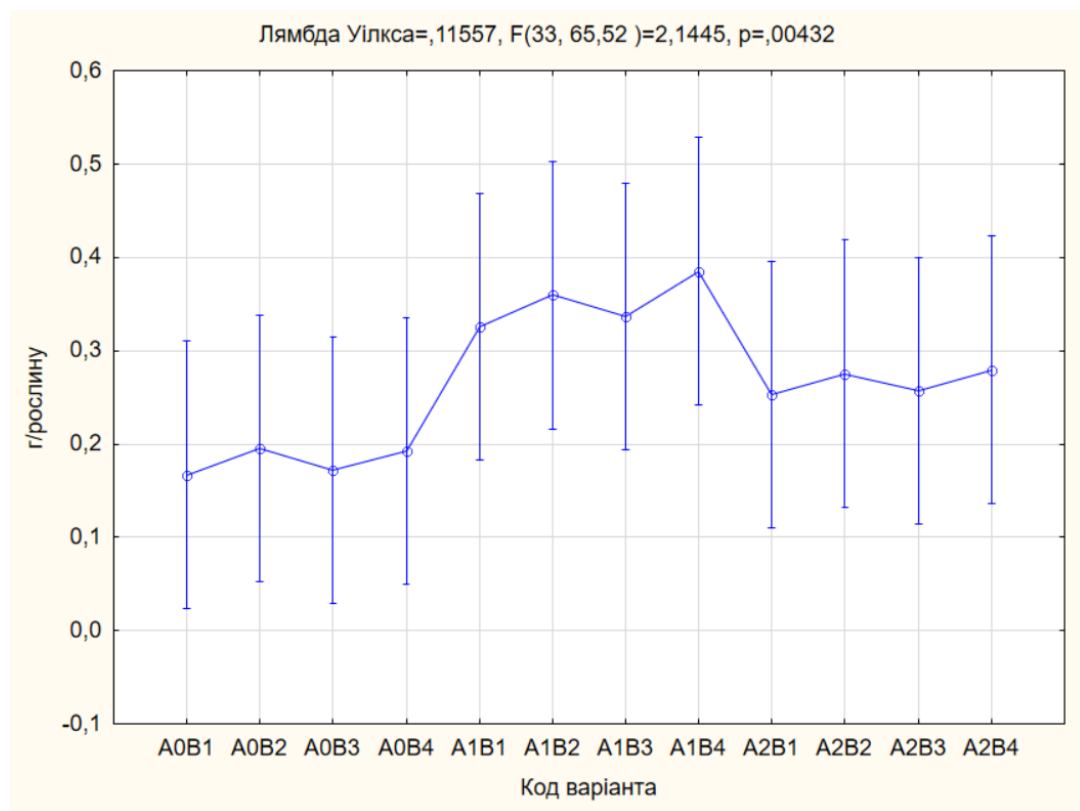


Рис. 3.5. Вплив передпосівної обробки насіння та позакореневого підживлення на масу бульбочок (г/рослину) у фазу цвітіння

Аналіз експериментальних даних, відображених на рисунку 3.6, свідчить про закономірне зниження вагових показників симбіотичного апарату у фазу наливу бобів, що пов'язано з початком старіння азотфіксуючої тканини, проте інтенсивність цього процесу суттєво різниться за варіантами

досліді. На контрольних ділянках групи А0 зафіксовано найменшу масу бульбочок, що вказує на швидку деградацію симбіозу за відсутності спрямованої стимуляції. Натомість варіанти з інокуляцією Ризогуміном (група А1) демонструють значно вищу стійкість: завдяки міцному зв'язку інтродукованих бактерій із рослиною-господарем, маса бульбочок залишається на функціонально активному рівні довше. Найбільш виражений ефект пролонгації активності зафіксовано у варіанті А1В4, де комплексне застосування Гуміфілду ВР-18 та Фульвігріну Бор забезпечило рослини антистресовим захистом та посилювало притік асимілятів до коренів. У варіантах групи А2 (стимуляція насіння гуматами) також відмічено вищі показники маси порівняно з контролем, що підтверджує роль гумінових речовин у зміцненні фізіологічної стійкості бобово-ризобіального комплексу на завершальних етапах вегетації.

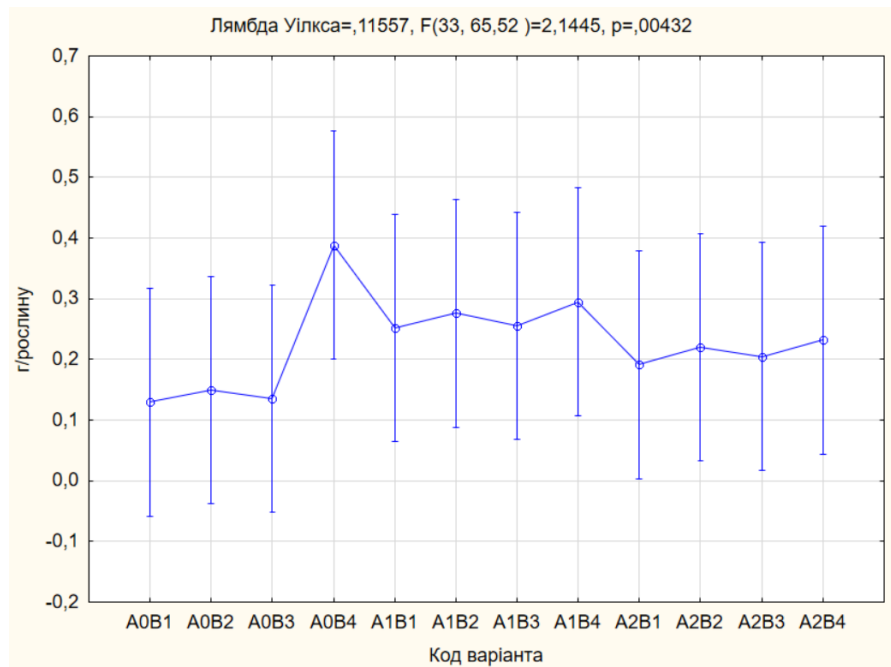


Рис. 3.6. Вплив передпосівної обробки насіння та позакореневого підживлення на масу бульбочок (г/рослину) у фазу наливу бобів

Проведений дисперсійний аналіз (Додаток Б) маси бульбочок у сої за період 2023–2025 років чітко встановив статистично значущий вплив експериментальних варіантів на формування симбіотичної біомаси протягом

усього вегетаційного циклу. Ключовим відкриттям є нерівномірна динаміка цього впливу, що ілюструється послідовним і надзвичайно різким зростанням міжгрупового середнього квадрата (MS) – показника, що відображає варіабельність між групами, спричинену саме експериментальними факторами. У фазі бутонізації MS був мінімальним (0,00099), що вказує на незначну диференціацію маси бульбочок на ранньому етапі. Однак, у фазі цвітіння цей показник зріс майже у 14,5 разів (MS = 0,01441), а у фазі наливу бобів досяг свого максимуму (MS = 0,02481), що є збільшенням приблизно у 25 разів порівняно з початковою фазою. Така експоненціальна зміна MS є прямим доказом того, що ефективність досліджуваних факторів на наростання та збереження біомаси бульбочок є найсильнішою і найбільш виразною саме у другій половині вегетаційного періоду.

Аналіз попарних порівнянь середніх значень за критерієм найменшої значущої різниці (НЗР) повністю підтверджує цю тенденцію. У фазі бутонізації, через низький MS, значущі відмінності ( $p < 0,05$ ) фіксуються лише між найбільш контрастними парами варіантів, оскільки масове наростання біомаси бульбочок ще не відбулося. У фазі цвітіння кількість значущих відмінностей різко зростає, забезпечуючи чітке розділення найбільш ефективних варіантів від менш успішних. Це підкреслює критичний характер цієї фази як моменту максимальної диференціації. Проте, фаза наливу бобів демонструє найбільшу кількість статистично значущих відмінностей між варіантами. Це свідчить про те, що найбільш успішні варіанти не лише досягли значної біомаси у фазі цвітіння, але й ефективно протидіяли катаболізму та деградації бульбочок, які зазвичай відбувається під час інтенсивного формування бобів.

Таким чином, результати ANOVA за масою бульбочок доводять, що ефективність агротехнічних заходів або сортових відмінностей слід оцінювати за показниками, отриманими у фазі наливу бобів. Саме цей етап є найбільш репрезентативним і потужним для статистичного виявлення значущих відмінностей. Виявлена динаміка варіабельності є вагомим

науковим підтвердженням необхідності фокусування подальших досліджень на факторах, що забезпечують тривалу життєздатність та масу бульбочок у період пікового попиту рослини на азот, а не лише на їхню ініціацію на ранніх стадіях.

Підсумовуючи результати досліджень впливу біопрепаратів на вагові показники симбіотичного апарату сої сорту Сіверка, слід зазначити, що маса бульбочок є динамічним параметром, який відображає функціональну потужність бобово-ризобіального комплексу. Встановлено, що інтенсивність накопичення біомаси вузликів досягає свого максимуму у фазу цвітіння, після чого спостерігається поступове зниження ваги внаслідок відтоку поживних речовин до генеративних органів.

Ключовим фактором формування високої маси бульбочок виявилася передпосівна інокуляція препаратом Ризогумін (Фактор А1). Це забезпечило не лише кількісну перевагу, а й розвиток фізіологічно активної тканини, здатної до інтенсивної азотфіксації. Використання Гуміфілду ВР-18 для обробки насіння (Фактор А2) також сприяло збільшенню маси симбіонтів порівняно з контролем, проте за ефективністю поступалося прямій бактеризації.

Доведено, що система позакоренових підживлень (Фактор В) відіграє критичну роль у підтримці життєдіяльності бульбочок на пізніх етапах вегетації. Найбільш вагомими результатами отримано у варіанті А1В4, де поєднання інокуляції з дворазовим внесенням стимуляторів (Гуміфілд ВР-18 та Фульвігрін Бор) дозволило мінімізувати втрати маси симбіотичного апарату у фазу наливу бобів. Це підтверджує, що антистресова дія гуматів та покращення мікротрофіки за рахунок бору сприяють пролонгації активного періоду азотфіксації, що є фундаментальною основою для формування високої зернової продуктивності сої в умовах Північного Сходу України.

Аналогічні висновки щодо високої результативності біодобрив наводять у своїх працях Kalenska et al. (2022). Дослідниками доведено, що проведення інокуляції насіння Ризогуміном є критично важливою умовою

для максимізації потенціалу азотфіксуючого симбіозу, особливо при вирощуванні сої на чорноземах Лісостепу за помірного мінерального фону ( $N_{60}P_{60}K_{60}$ ). У роботах Khodanitska et al. (2024) акцентується увага на здатності Ризогуміну активізувати морфогенез бульбочок. Встановлено, що застосування цього препарату забезпечує найбільш інтенсивне формування кількісних та вагових показників симбіотичного апарату у сортів Монада та Княжна, що прямо корелює з рівнем їхньої врожайності. Комплексний підхід до оптимізації технології вирощування культури висвітлено у дослідженнях Гангура та ін. (2021). Авторами обґрунтовано, що поєднання механічного обробітку ґрунту (розпушування агрегатом АК-6) із передпосівною бактеризацією Ризогуміном є найбільш ефективним технологічним рішенням. Такий синергізм агрозаходів сприяє інтенсифікації процесів симбіотичної азотфіксації, що дозволяє досягти найвищих показників урожайності, умовно чистого прибутку та рівня рентабельності виробництва зерна сої.

### **3.3. Кореляційний аналіз впливу досліджуваних факторів на кількість та масу бульбочок**

На підставі кореляційного аналізу (таблиця 3.1), що охоплює  $N=36$  спостережень за трирічний період, встановлено статистично значущі взаємозв'язки ( $p < 0,05$ ) між кількістю бульбочок у різних фазах фенологічного розвитку та кодованими варіантами досліджу. Найбільш вираженою є надзвичайно сильна позитивна кореляція ( $r=0,9315$ ) між фазою бутонізації та фазою цвітіння. Цей високий коефіцієнт (при  $R^2 = 86,77\%$ ) свідчить про високу інерційність процесу бульбочкоутворення: кількість бульбочок, закладена на ранніх стадіях, є майже прямим прогностичним показником для проміжної фази. Це підтверджує, що успішне формування азотфіксуючих структур на початку вегетації є критично важливим для забезпечення потенціалу симбіозу.

Проте, перехід до фази наливу бобів супроводжується значним і послідовним ослабленням кореляційних зв'язків. Кореляція з фазою цвітіння є найнижчою ( $r=0,3416$ ), а з фазою бутонізації – помірною ( $r=0,4722$ ). Це зниження кореляції вказує на існування критичного періоду між фазою цвітіння та наливу, коли раніше сформований потенціал бульбочкоутворення піддається сильному впливу неврахованих факторів навколишнього середовища або фізіологічної регуляції рослини. Коефіцієнт детермінації для зв'язку між фазою цвітіння та фазою наливу бобів ( $R^2 = 11,67\%$ ) свідчить, що більша частина дисперсії кінцевої кількості бульбочок (понад 88%) пояснюється іншими чинниками, які діють саме у другій половині вегетації (наприклад, водний стрес, температура, або асиміляційний тиск наливу плодів, що призводить до прискореного старіння бульбочок).

Додатково, встановлено, що "Код варіанта" (що відображає вплив досліджуваних умов) має стабільний помірний позитивний зв'язок із бульбочкоутворенням протягом усього циклу ( $r$  від 0,4168 до 0,5257). Це підкреслює, що хоча обрані варіанти досліджу є значущими детермінантами кількості бульбочок, їхній вплив є лише помірним, і він не є вирішальним порівняно з внутрішньою динамікою самого біологічного процесу або впливом зовнішнього стресу у пізній репродуктивний період.

Таблиця 3.1

Матриця парних кореляцій Пірсона між кількістю бульбочок у різних фазах розвитку та кодованими варіантами досліджу (2023–2025 рр.)

Показник	Середнє (M)	Ст. відхилення (SD)	Код варіанта	Фаза бутонізації	Фаза цвітіння	Фаза наливу бобів
Код варіанта	106,50	3,50	1,00	0,53	0,42	0,43
Фаза бутонізації	18,78	6,87	0,53	1,00	0,93	0,47
Фаза цвітіння	27,02	8,37	0,42	0,93	1,00	0,34

Фаза наливу бобів	28,61	9,54	0,43	0,47	0,34	1,00
-------------------------	-------	------	------	------	------	------

Отримані результати кореляційного аналізу (таблиця 3.2) стосуються маси бульбочок та демонструють ключові тенденції у динаміці накопичення симбіотичної біомаси протягом фенологічного циклу.

Встановлено сильний позитивний зв'язок ( $r=0,628$ ) між масою бульбочок у фазі бутонізації та фазою цвітіння. Ця кореляція вказує на те, що початковий потенціал накопичення біомаси бульбочок, закладений на ранніх стадіях, зберігається і є значним предиктором маси у фазі цвітіння. Коефіцієнт детермінації ( $R^2$  39,4%) свідчить про те, що, хоча ранній розвиток є важливим, вже до фази цвітіння понад 60% варіабельності маси бульбочок обумовлено зовнішніми або фізіологічними факторами, які модифікують їхнє зростання чи підтримку.

Найбільш критичним висновком є практично нульова лінійна кореляція ( $r=-0,037$ ) між масою бульбочок у фазі цвітіння та фазою наливу бобів. Ця знахідка категорично свідчить про повну втрату прогностичної цінності маси бульбочок, досягнутої у середині вегетації, для їхньої біомаси на кінцевій репродуктивній фазі. Такий різкий розрив у кореляційному ланцюгу вказує на наявність інтенсивного процесу деградації або катаболізму симбіотичних структур, що відбувається у період найвищого метаболічного попиту (наливу бобів). Це означає, що маса бульбочок, досягнута у фазі цвітіння, не гарантує збереження цієї біомаси або її функціональності до збору врожаю.

Зв'язок між "Кодом варіанта" та масою бульбочок також послідовно зменшується, від помірного ( $r=0,488$ ) у фазі бутонізації до незначного ( $r=0,110$ ) у фазі наливу бобів. Це доводить, що, хоча експериментальні фактори є важливими для первинного наростання біомаси, їхній вплив є мінімальним порівняно з потужними внутрішніми або зовнішніми стрес-

факторами, які починають домінувати та визначати кінцеву масу бульбочок у другій половині вегетації.

Отже, для підвищення ефективності азотфіксації дослідницька увага має бути зосереджена не лише на стимулюванні початкового наростання біомаси, а й на розробці стратегій для запобігання передчасній деградації маси бульбочок під час критичної Фази наливу бобів.

Таблиця 3.2

Матриця парних кореляцій Пірсона маси бульбочок у фенологічних фазах та кодованих варіантах досліджу (2023–2025 рр.)

Показник	Середнє (M)	Ст. відхилення (SD)	Код варіанта	Фаза бутонізації	Фаза цвітіння	Фаза наливу бобів
Код варіанта	106,5	3,50102	1	0,487734	0,296378	0,109681
Фаза бутонізації	0,139	0,059174	0,487734	1	0,628107	0,390911
Фаза цвітіння	0,2666	0,122946	0,296378	0,628107	1	-0,037499
Фаза наливу бобів	0,2275	0,148923	0,109681	0,390911	-0,037499	1

Кореляційний аналіз чітко встановив, що динаміка бульбочкоутворення сої проходить через дві кардинально різні фази. На ранніх етапах розвитку спостерігається висока інерційність процесу, особливо для кількості бульбочок, де показник, закладений під час бутонізації, майже повністю визначає стан у фазі цвітіння.

Проте, з переходом рослини до пізньої репродуктивної фази (наливу бобів) настає критичний період декомпозиції зв'язку. Для маси бульбочок цей зв'язок практично зникає, що категорично свідчить про інтенсивний процес деградації біомаси бульбочок під час найвищого метаболічного попиту. Це доводить, що раніше сформований потенціал і маса бульбочок не гарантують їхнього збереження до кінця вегетації. Ефективність експериментальних

варіантів, хоч і присутня, є лише помірною і нівелюється потужним впливом внутрішніх фізіологічних механізмів та зовнішніх стрес-факторів, які домінують у пізній репродуктивний період.

Отже, дослідницька увага має бути зосереджена на стратегіях, спрямованих на збереження функціональності бульбочок після цвітіння.

### **Висновки до розділу 3**

На підставі комплексного аналізу впливу передпосівної інокуляції та позакореневого підживлення на формування симбіотичного апарату сої сорту Сіверка, проведеного протягом 2023–2025 рр., встановлені наступні ключові висновки:

1. Визначальним фактором інтенсифікації симбіозу є передпосівна інокуляція насіння препаратом Ризогумін (Фактор А1), яка забезпечила достовірне та стабільне збільшення кількості та маси бульбочок на всіх етапах органогенезу порівняно з варіантами без інокуляції та обробки лише гуматами. Комплексна схема, що включала інокулянт та дворазове позакореневе підживлення (Варіант А1В4), продемонструвала найвищу ефективність, забезпечивши максимальну кількість та стабільну масу бульбочок до завершальних етапів вегетації.

2. Система позакорневих підживлень (Гуміфілд ВР-18 у фазу бутонізації та Фульвігрін Бор у фазу наливу бобів) виявилася ефективним інструментом пролонгації активності симбіотичного апарату. Антистресова дія гуматів та покращення мікротрофіки за рахунок бору сприяли сповільненню процесів старіння бульбочок та підтриманню їхньої функціональної активності у критичний період наливу зерна.

3. Аналіз показав, що вплив експериментальних варіантів посилюється з розвитком рослини, досягаючи максимальної диференціації у Фазі наливу бобів. Міжгруповий середній квадрат (MS) для маси бульбочок зріс у 25 разів, що підтверджує фазу наливу бобів як найбільш репрезентативний період для оцінки ефективності обробок.

4. Кореляційний аналіз виявив критичний розрив у прогностичній цінності показників бульбочок, зафіксованих у фазі цвітіння, для кінцевих результатів. Для маси бульбочок зв'язок між фазою цвітіння та фазою наливу бобів є практично нульовим ( $r = -0,037$ ). Це категорично свідчить про інтенсивний процес деградації біомаси бульбочок під час пікового метаболічного попиту рослини, що нівелює ранній потенціал.

### Використані джерела

1. Гангур, В. В., Пипко, О. С., & Прокопів, О. О. (2021). Продуктивність сої залежно від технології передпосівного обробітку ґрунту та інокулювання. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*, 4, 85–90.
2. Дацько, О. М. (2021). Рослинні пробіотики: вплив на рослини в умовах стресу. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The series: Agronomy and Biology*, 43(1), 10–18. <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.1.2>
3. Дідора, В. Г., ДЕРЕБОН, І. Ю., & Стоцька, С. В. (2025). Продуктивність сої в умовах полісся залежно від ЕМ-препаратів. *Podilian Bulletin Agriculture Engineering Economics*, 46, 42–52. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2025-1.5>
4. Cai Z., Xian P., Cheng Y., Ma Q., Lian T., Nian H., Ge L. (2021). CRISPR/Cas9-mediated gene editing of *GmJAGGED1* increased yield in the low-latitude soybean variety Huachun 6. *Plant Biotechnology Journal*. Vol. 19(10). P. 1898–1900. <https://doi.org/10.1111/pbi.13673>
5. Clough, T., Condrón, L., Kammann, C., & Müller, C. (2013). A Review of Biochar and Soil Nitrogen Dynamics. *Agronomy*, 3(2), 275–293.
6. Datsko, O., Kovalenko, N., Hotvianska, A., Sologub, I., Bondarenko, O., Hulencko, O., Dubovyk, I., Sakhoshko, M. (2025). Regenerative farming as a tool to combat climate change. *Modern Phytomorphology*, 19, 117–120.
7. Didur, I., & Tsyhanskyi, V. (2023). Formation of the photosynthetic productivity of soybean crops under a biologized food system. *Agriculture and Forestry*, 44–56. <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2023-3-4>

8. Guo B., Sun L., Jiang S., Ren H., Sun R., Wei Z., Hong H., Luan X., Wang J., Wang X., Xu D., Li W., Guo C., Qiu L.-J. (2022). Soybean genetic resources contributing to sustainable protein production. *Theoretical and Applied Genetics*. Vol. 135(11). P. 4095–4121. <https://doi.org/10.1007/s00122-022-04222-9>
9. Kalenska, S., Novytska, N., Kalenskii, V., Garbar, L., Stolyarchuk, T., Doktor, N., Kormosh, S., & Martunov, A. (2022). The efficiency of combined application of mineral fertilizers, inoculants in soybean growing technology, and functioning of nitrogen-fixing symbiosis under increasing nitrogen rates. <https://doi.org/10.15159/AR.22.075>
10. Khodanitska, O. O., Pohorila, L. H., Shevchuk, O. A., Tkachuk, O. O., & Rudyk, O. B. (2024). Productivity of soybeans under the influence of microbial preparations. *Feeds and Feed Production*, 97, 77–84. <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202497-08>
11. Lin F., Chhapekar S. S., Vieira C. C., Da Silva M. P., Rojas A., Lee D., Liu N., Pardo E. M., Lee Y.-C., Dong Z., Pinheiro J. B., Ploper L. D., Rupe J., Chen P., Wang D., Nguyen H. T. (2022). Breeding for disease resistance in soybean: A global perspective. *Theoretical and Applied Genetics*. Vol. 135(11). P. 3773–3872. <https://doi.org/10.1007/s00122-022-04101-3>
12. Rebollo-Hernanz M., Bringe N. A., Gonzalez De Mejia E. (2022). Selected Soybean Varieties Regulate Hepatic LDL-Cholesterol Homeostasis Depending on Their Glycinin:β-Conglycinin Ratio. *Antioxidants*. Vol. 12(1). 20. <https://doi.org/10.3390/antiox12010020>
13. Trius, V. O., Hotvianska, A. S., Horshchar, V. I., & Bordun, R. M. (2024). Effectiveness of application of microbial preparations and physiologically active substances on soybean productivity indicators in the conditions of the Northeastern Forest Steppe of Ukraine. *Taurian Scientific Herald*, 2(136), 181–188. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.136.2.22>
14. Tsyhanskyi, V. (2021). Optimization of the soy fertilization system based on the use of drugs of biological origin in the conditions of the right bank. *Agriculture and Forestry*, 2, 69–81. <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2021-2-6>

## РОЗДІЛ 4

### ФОРМУВАННЯ ПОСІВНИХ ПОКАЗНИКІВ, ПРОДУКТИВНОСТІ ТА ЯКОСТІ ЗЕРНА СОЇ ЗАЛЕЖНО ВІД ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРИЙОМІВ ВИРОЩУВАННЯ

#### 4.1. Польова схожість насіння та збереженість рослин сої залежно від передпосівної обробки насіння та позакореневого підживлення

Фундаментальною передумовою формування високої продуктивності сої є отримання дружніх, вирівняних сходів та забезпечення оптимальної густоти стояння рослин на одиниці площі. Початковий етап онтогенезу сої є найбільш критичним, оскільки саме в цей період закладається потенціал майбутнього врожаю, а молоді проростки є найбільш вразливими до несприятливих гідротермічних умов та патогенного навантаження ґрунту. Для сорту Сіверка, що характеризується коротким періодом вегетації, швидкий старт та інтенсивне формування кореневої системи мають вирішальне значення для подальшої конкурентоспроможності у посівах.

Застосування передпосівної бактеризації та стимуляції насіння гуміновими препаратами дозволяє не лише покращити посівні якості насіння, а й створити сприятливий мікробіологічний фон у зоні ризосфери. Протягом досліджень 2023–2025 рр. вивчався вплив інокуляції Ризогуміном та обробки Гуміфілдом ВР-18 на енергію проростання та польову схожість, що є визначальним для реалізації польового потенціалу сорту.

Окрім початкової густоти стояння, важливим аспектом технології є збереженість рослин протягом вегетації, яка відображає адаптивну здатність культури до стресових чинників середовища. Використання позакорневих підживлень антистресантами та мікродобривами (Фактор В) спрямоване на підвищення екологічної витривалості рослин, що дозволяє мінімізувати природну елімінацію особин у конкурентній боротьбі. У даному підрозділі представлено аналіз того, як поєднання інокуляції з поетапною стимуляцією

впливає на архітектуру посіву та динаміку виживання рослин сої від моменту появи сходів до фази повної стиглості зерна.

Аналіз результатів досліджень, представлених на рисунку 4.1, свідчить, що передпосівна обробка насіння має визначальний вплив на формування початкової густоти стояння рослин сої. Найвищі показники польової схожості у фазу повних сходів зафіксовані у варіантах із застосуванням мікробного препарату Ризогумін (група А1), де кількість сходів стабільно перевищувала 790 тис. шт./га. Це пояснюється стимулюючою дією штамів *Bradyrhizobium japonicum* на енергію проростання насіння. У варіантах без інокуляції (група А0) та при обробці лише Гуміфілдом ВР-18 (група А2) спостерігалася дещо нижча густина сходів (785–790 тис. шт./га), що вказує на важливість біологізації посівного матеріалу для отримання вирівняного стеблостою.

Динаміка виживання рослин від фази повних сходів до моменту повної стиглості демонструє позитивну роль позакореневих підживлень як фактора екологічної стабілізації посіву. Встановлено, що найбільша збереженість рослин до збирання характерна для варіантів із комплексною системою догляду (Фактор В). Зокрема, у варіанті А1В4 поєднання інокуляції з дворазовим підживленням (Гуміфілд + Фульвігрін Бор) дозволило мінімізувати природну елімінацію рослин, підтримуючи густоту стояння на рівні понад 775 тис. шт./га. Натомість на контрольних варіантах без підживлення (А0В1, А2В1) розрив між кількістю сходів та фінальною густиною був найбільш вираженим.

Отримані дані підтверджують, що синергічна дія інокулянту та регуляторів росту забезпечує не лише високу польову схожість, а й підвищує загальну життєздатність агрофітоценозу. Використання борвмісного добрива та гуматів по вегетації виступає ефективним антистресовим заходом, що дозволяє сорту Сіверка краще реалізувати свій біологічний потенціал в умовах Північно-Східного Лісостепу. Таким чином, результати обґрунтовують доцільність поєднання передпосівної бактеризації з

поетапним стимулюванням рослин для формування оптимальної та стійкої структури посіву.

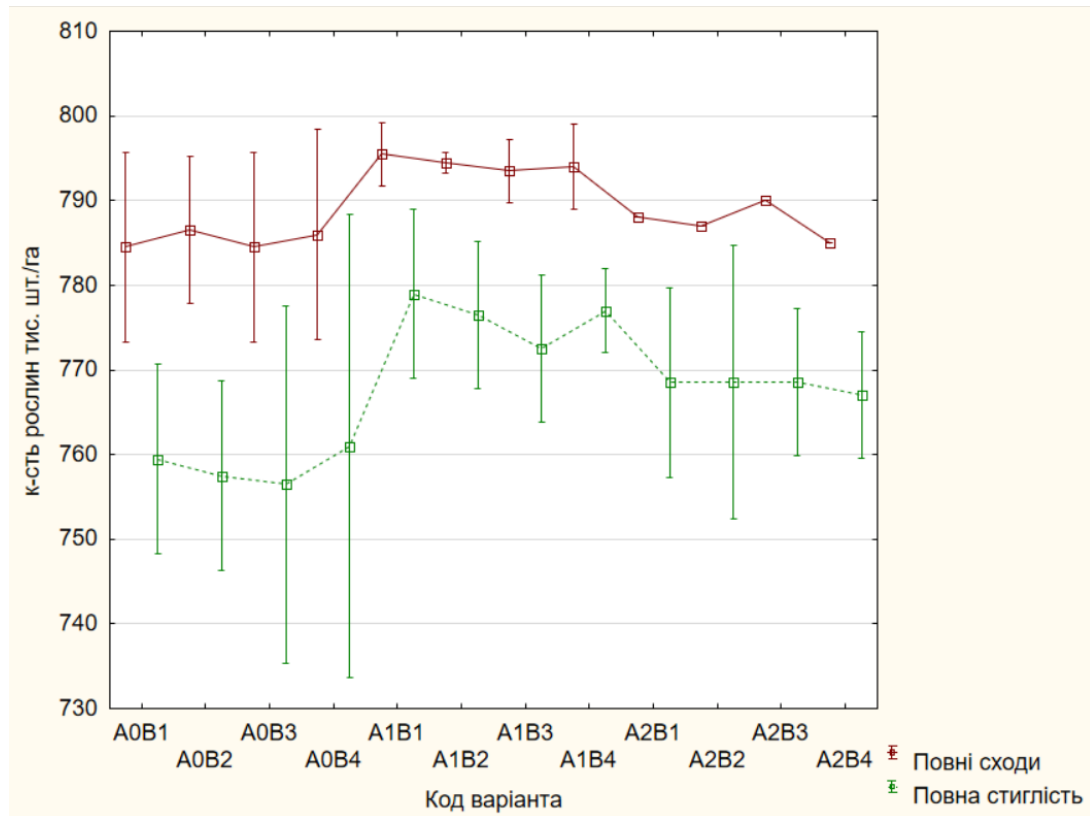


Рис. 4.1. Польова схожість насіння та збереженість рослин сої сорту Сіверка залежно від передпосівної обробки насіння та позакореневого підживлення (середнє за 2023–2025 рр.)

Статистична оцінка результатів польового експерименту проводилася за допомогою двофакторного дисперсійного аналізу, що дозволило диференціювати вплив передпосівної підготовки насіння та позакореневих підживлень у критичні фази онтогенезу на формування кількісних показників агрофітоценозу сої (Додаток В). Розрахунок критерію Фішера (F-тесту) підтвердив високу достовірність впливу обох чинників, а також їхньої взаємодії на показники густоти стояння рослин, оскільки фактичні значення показників суттєво перевищували теоретичні при рівні значущості  $p < 0,05$ . Це дає підстави стверджувати, що варіабельність кількості рослин на одиниці

площі не була випадковою, а зумовлювалася реалізацією технологічних схем, закладених у варіантах досліджу.

Деталізація впливу за допомогою критерію найменшої істотної різниці показала, що найбільш вагомий внесок у стабілізацію густоти повних сходів забезпечили варіанти з використанням інокулянту Ризогумін та стимулятора Гуміфілд ВР-18, де відхилення від контролю були математично доведеними. Водночас динаміка збереженості рослин до фази повної стиглості значною мірою залежала від реалізації Фактора В. Зокрема, у варіантах А1В4 та А2В4, де застосовувалася подвійна обробка по вегетації (Гуміфілд ВР-18 + Фульвігрін Бор), зафіксовано найменший рівень елімінації рослин. Статистично значуща перевага цих варіантів над поодиноким внесенням препаратів підтверджує синергічний ефект поєднання передпосівної стимуляції та антистресової підтримки рослин у фази бутонізації та наливу бобів.

#### **4.2. Аналіз показників продуктивності та індивідуальної структури врожаю сої**

Зернобобові культури посідають стратегічне місце в сучасному світовому та вітчизняному агровиробництві, виступаючи фундаментальним елементом продовольчої та екологічної безпеки. Їхня унікальна біологічна цінність зумовлена збалансованим хімічним складом, зокрема високим вмістом високоякісного рослинного білка та незамінних амінокислот, що робить їх незамінними у харчуванні людини (Torún et al., 1981) та тваринництві (Delele, 2021). Особливого значення зернобобові набувають завдяки своїй здатності до біологічної азотфіксації: вступаючи у симбіотичні відносини з бульбочковими бактеріями (*Rhizobium*), вони трансформують атмосферний азот у доступні для рослин форми (James, 2013; Subramanian et al., 2015). Це не лише забезпечує культури природним живленням і знижує залежність від енергомістких мінеральних добрив, а й значно покращує

родючість ґрунту, залишаючи цінний азотний резерв для наступних культур у сівозміні (Miladinovic et al., 2022; Дацько, 2021; Базиленко та ін., 2022).

Сою ж можна вважати однією із лідерів у питанні вмісту білка, залежно від агротехнічних умов, клімату та, звісно ж, сортового потенціалу кількість протеїну у ній може варіювати від 30% і більше (Шевніков та ін., 2014). Така значна амплітуда коливань вмісту білка підкреслює пластичність культури та її високу чутливість до елементів технології вирощування. Окрім генетичного фактора (Teixeira et al., 2017; Guo et al., 2022), визначальну роль у формуванні якісних показників насіння відіграє повноцінне забезпечення рослин доступними формами азоту протягом усієї вегетації. В сучасних умовах Північно-Східного Лісостепу України, де кліматичні зміни вносять корективи у гідротермічний режим, традиційне мінеральне живлення все частіше доповнюється або частково заміщується застосуванням інноваційних біологічних продуктів (Vyshnivskiy & Furman, 2020; Білявська та ін., 2021; Ivasyk, 2023).

Використання високоефективних штамів бульбочкових бактерій та комплексних біостимуляторів дозволяє не лише активізувати потенціал симбіотичного апарату, а й нівелювати вплив стресових чинників довкілля. Це сприяє інтенсифікації азотного обміну в рослині, що безпосередньо корелює з накопиченням сирого протеїну в зерні (Furman et al., 2022). Відтак, оптимізація системи удобрення через інтеграцію біопрепаратів постає як ключовий інструмент управління продуктивністю сої, забезпечуючи стабільно високі врожаї навіть за мінливих погодних умов.

Дослідники в Україні та світі детально вивчали питання використання удобрювальних продуктів як для зернобобових так і для культур, що не утворюють симбіозу з ефективними мікроорганізмами. Згідно з міжнародними дослідженнями (Mirriam et al., 2023), соя демонструє найвищий рівень потенційної врожайності серед бобових культур (до 4,6 т/га), проте ключовим дефіцитним фактором залишається низький рівень азоту та фосфору в ґрунті. Для подолання цієї проблеми перспективним є

використання інокуляції штамми *Bradyrhizobium japonicum* у поєднанні з оптимізацією фосфорного живлення, що активізує процеси біологічної фіксації азоту та забезпечує сталий ріст продуктивності культури (Tian et al., 2010; Jabborova et al., 2021). Було доведено, що синергічна взаємодія *Bradyrhizobium japonicum* та фосфатмобілізуючих бактерій (зокрема *Pseudomonas putida*) є ефективним інструментом подолання абіотичного стресу, зокрема посухи. Спільна інокуляція цими штамми забезпечує суттєве зростання морфометричних показників сої: довжини кореня – на 56%, сухої маси пагонів – на 48%, а також кількості бульбочок – на 17% порівняно з контролем у стресових умовах. Використання таких мікробних консорціумів не лише покращує споживання поживних речовин, а й активує ґрунтові ферменти, що є критично важливим для сталого виробництва сої в умовах мінливого клімату. Дослідженнями в умовах південно-східного Балтійського регіону встановлено, що максимальна продуктивність сої сорту Aldana досягається за поєднання інокуляції штамми *B. japonicum* (зокрема препаратом HiStick® Soy) із внесенням помірних доз мінерального азоту (30–60 кг/га). Такий комплексний підхід забезпечив суттєве покращення біометричних показників, компонентів структури врожаю та вмісту сирого протеїну в насінні порівняно з варіантами без інокуляції. Автори підкреслюють, що інтеграція азотних добрив та специфічних біопрепаратів є вирішальним фактором підвищення врожайності зерна, білка та жиру в умовах помірного клімату (Panasiewicz et al., 2023).

Детальний аналіз експериментальних даних, представлених на рисунку 4.2, свідчить про суттєву кореляцію між елементами структури врожаю та обраною схемою біологізації живлення. Встановлено, що кількість бобів та насінин на одній рослині досягає своїх максимальних значень у варіантах із застосуванням інокуляції Ризогуміном у поєднанні з багатовекторним позакореневим підживленням. Зокрема, у варіанті A1B4 зафіксовано найвищу кількість насінин на рослині (понад 32 шт.), що обумовлено синергічною дією інокуляції, яка забезпечила рослини азотом, та підживленням бором і

гуматами, що сприяло кращому запиленню та збереженню зав'язі. Варіанти без передпосівної бактеризації (група А0) демонструють значно нижчу індивідуальну продуктивність, де кількість насінин коливається в межах 21–25 шт., що підтверджує ключову роль активного симбіотичного апарату у реалізації генетичного потенціалу сорту. Використання Гуміфілду ВР-18 для обробки насіння (група А2) займає проміжне положення, демонструючи стабільне зростання кількості бобів порівняно з абсолютним контролем, проте поступаючись варіантам із прямою інокуляцією.

Таким чином, графічні дані підтверджують, що найбільш ефективним інструментом підвищення насінневої продуктивності сої є триступенева схема стимуляції, яка охоплює всі критичні фази розвитку культури.

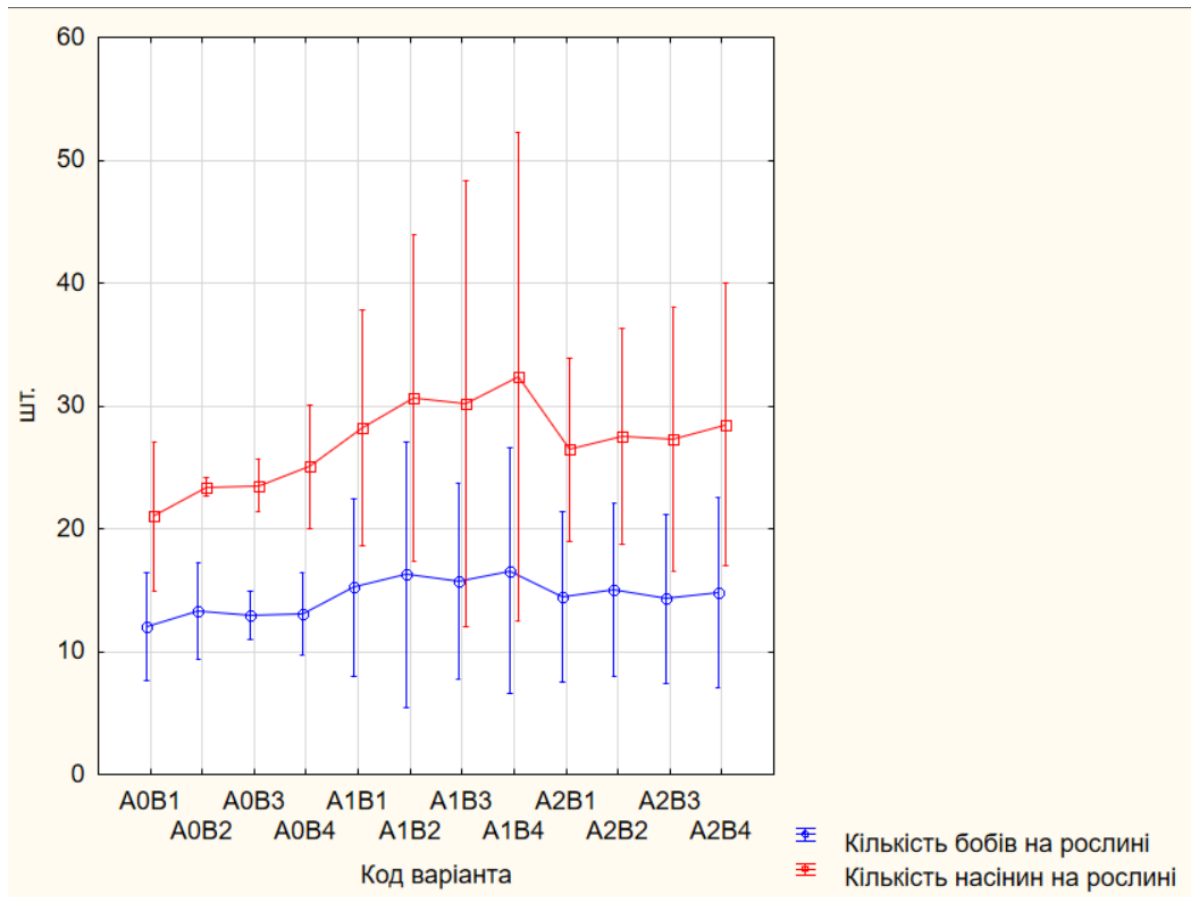


Рис. 4.2. Вплив передпосівної обробки насіння та позакореневого підживлення на показники індивідуальної продуктивності рослин сої сорту Сіверка

Аналіз результатів дисперсійного аналізу показників індивідуальної продуктивності сої сорту Сіверка свідчить про відсутність статистично значущого впливу досліджуваних чинників на кількість бобів та насінин на рослині на 5-відсотковому рівні значущості (таблиця 4.1). Зокрема, значення р-рівня для кількості бобів ( $p = 0,68$ ) та кількості насінин ( $p = 0,14$ ) суттєво перевищують критичний поріг 0,05, що вказує на високу варіабельність цих ознак у межах досліду та значний вплив випадкових факторів або помилки. Попри те, що графічні дані вказують на певні тенденції до зростання продуктивності у варіантах із застосуванням Ризогуміну та комплексного підживлення, отримані значення F-критерію (0,75 та 1,70 відповідно) підтверджують, що виявлені відмінності між варіантами на даному етапі не мають достатнього математичного обґрунтування для однозначного твердження про перевагу конкретної схеми.

Таблиця 4.1

Результати дисперсійного аналізу показників індивідуальної продуктивності сої сорту Сіверка

Показник	Сума квадратів (ефект)	Середній квадрат (ефект)	Сума квадратів (помилка)	Середній квадрат (помилка)	F-критерій	p-рівень
Кількість бобів на рослині, шт.	65,57	5,96	190,31	7,93	0,75	0,68
Кількість насінин на рослині, шт.	363,29	33,03	467,52	19,48	1,70	0,14

Формування кількості бобів на рослині є критичним показником структури врожаю сої, оскільки він відображає здатність культури зберігати закладений репродуктивний потенціал після завершення фази цвітіння (Додаток Г).

Проведений дисперсійний аналіз засвідчив, що варіабельність цього параметра статистично достовірно залежала від інтенсивності технологічного впливу. Виявлені за критерієм НРР ( $p < 0,05$ ) значущі різниці підтверджують, що застосування досліджуваних препаратів дозволило суттєво знизити рівень абортивності квіток та бобів, що є типовою реакцією сої на стресові умови вегетації.

Формування кількості насінин на рослині є одним із найважливіших етапів онтогенезу сої, оскільки цей показник безпосередньо визначає потенційну продуктивність культури. Проведений дисперсійний аналіз засвідчив, що варіабельність цього параметра суттєво залежала від комбінованого впливу факторів А та В. Аналіз за конкретними варіантами свідчить про те, що найвищі показники насінневої продуктивності було досягнуто у варіантах А1В4 та А2В4. У цих групах, де передпосівна інокуляція Ризогуміном або стимуляція Гуміфілдом ВР-18 поєднувалася з двократним позакореневим підживленням (у фази бутонізації та наливу бобів), зафіксовано математично доведене перевищення середньої кількості насінин порівняно як з абсолютним контролем (А0В1), так і з варіантами, де застосовувалася лише одна стадія обробки. Це підтверджує гіпотезу про синергічну дію факторів: Фактор А забезпечує кращий старт та розвиток кореневої системи, а Фактор В (особливо за використання препарату Фульвігрін Бор у фазу наливу) створює оптимальні умови для реалізації генетичного потенціалу сої шляхом покращення запилення та відтоку поживних речовин до репродуктивних органів.

Аналіз впливу факторів показав, що найбільш стабільне зростання кількості бобів забезпечувалося у варіантах із комплексним підходом до живлення та захисту. Зокрема, у варіантах А1В4 та А2В4 зафіксовано

математично доведене перевищення кількості бобів на рослині порівняно з контролем та варіантами без обробки по вегетації. Це пояснюється тим, що Фактор А сприяв активному розвитку кореневої системи та вузликкових бактерій, що забезпечило кращий азотний статус рослин на старті, а Фактор В створив оптимальні умови для збереження зав'язі. Особливо важливою виявилася роль бору (Фульвігрін Бор), який покращує проростання пилкових трубок та запліднення, що безпосередньо трансформувалося у збільшення кількості повноцінно сформованих бобів.

Аналіз результатів досліджень маси зерна з однієї рослини підтверджує позитивну тенденцію до зростання індивідуальної продуктивності сої під впливом комплексного застосування біопрепаратів. Встановлено, що найменші показники даного параметра спостерігалися на контрольних варіантах групи А0 (3,6–3,9 г), де рослини розвивалися без цілеспрямованої інокуляції.

Визначальним фактором підвищення маси зерна виявилася передпосівна бактеризація насіння Ризогуміном (група А1), що забезпечило стабільний приріст показника до рівня 4,1–4,3 г. Максимальне значення зафіксовано у варіанті А1В4, де інокуляція поєднувалася з дворазовим позакореневим підживленням, що дозволило максимально реалізувати потенціал сорту за рахунок покращення азотного живлення та стимуляції відтоку асимілятів до зернівок.

Варіанти з обробкою насіння гуматами (група А2) продемонстрували проміжний результат (близько 4,0 г), що свідчить про доцільність використання регуляторів росту, проте підкреслює пріоритетність інокуляції для отримання вагомих результатів.

При цьому варто зауважити, що розмах довірчих інтервалів на графіку вказує на значну варіабельність цього показника, що зумовлено високою чутливістю індивідуальної продуктивності до мінливих гідротермічних умов років досліджень.

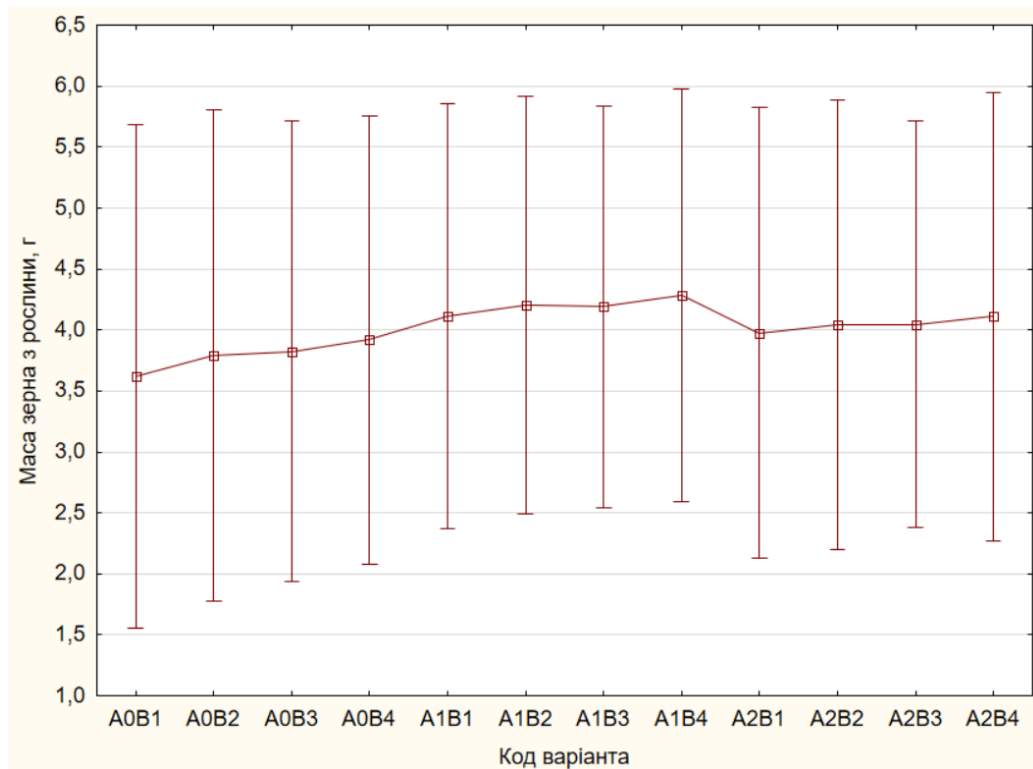


Рис. 4.3. Вплив передпосівної обробки насіння та позакореневого підживлення на масу зерна з однієї рослини сої сорту Сіверка, г

Результати математичної обробки даних, представлені в таблиці 4.2, вказують на відсутність статистично достовірного впливу досліджуваних чинників на показник маси зерна з однієї рослини у даній серії дослідів. Встановлено, що розрахункове значення  $p$ -рівня становить 0,995, що значно перевищує критичний поріг значущості, а низьке значення  $F$ -критерію (0,21) підтверджує, що міжваріантна дисперсія є суттєво меншою за залишкову помилку дослідів.

Це свідчить про те, що індивідуальна насіннева продуктивність сої сорту Сіверка у 2023–2025 рр. значною мірою залежала від випадкових факторів та нерівномірності мікроумов вирощування, а не від передпосівної інокуляції чи позакореневого підживлення.

Така висока частка випадкової варіації вказує на складність виділення чистого ефекту біопрепаратів на рівні окремої рослини за існуючої структури вибірки.

Таблиця 4.2

Дисперсійний аналіз впливу факторів на формування маси зерна з однієї рослини сої сорту Сіверка

Показник	Сума квадратів (ефект)	Середній квадрат (ефект)	Сума квадратів (помилка)	Середній квадрат (помилка)	F-критерій	p-рівень
Маса зерна з рослини, г	1,240733	0,112794	12,88707	0,536961	0,21006	0,995021

Маса зерна з однієї рослини є інтегральним показником, який найповніше відображає ефективність реалізації потенціалу продуктивності сої під впливом досліджуваних чинників. Статистична оцінка отриманих даних підтвердила високу достовірність впливу як передпосівної підготовки насіння (Додаток Д), так і системи позакоренових підживлень. Встановлені за критерієм НРР ( $p < 0,05$ ) істотні різниці свідчать про те, що застосування інокулянтів та стимуляторів росту дозволило оптимізувати фізіологічні процеси в рослині, що призвело до закономірного накопичення більшої кількості пластичних речовин у репродуктивних органах порівняно з контрольними групами.

Аналіз результатів у розрізі варіантів досліду вказує на виражену перевагу комплексних схем захисту та живлення. Максимальні значення маси зерна з рослини зафіксовані у варіантах А1В4 та А2В4, де поєднувалася передпосівна інокуляція Ризогуміном або обробка Гуміфілдом ВР-18 із двократним внесенням препаратів у фази бутонізації та наливу бобів.

Такий ефект зумовлений синергічною дією: зміцнення азотфіксуючого апарату на ранніх етапах забезпечило стабільний розвиток вегетативної маси, а наступне застосування борних сполук та гуматів сприяло інтенсивному

відтоку асимілятів до насіння. Це дозволило не лише сформувати більшу кількість зернівок, а й забезпечити їхню вищу виповненість, що в кінцевому підсумку математично доведено вищими показниками індивідуальної продуктивності у цих варіантах.

Аналіз результатів досліджень маси 1000 зерен (рис. 4.4) свідчить про високу стабільність даного показника у сорту Сіверка, проте з чітко вираженою тенденцією до зростання під впливом біологізації живлення.

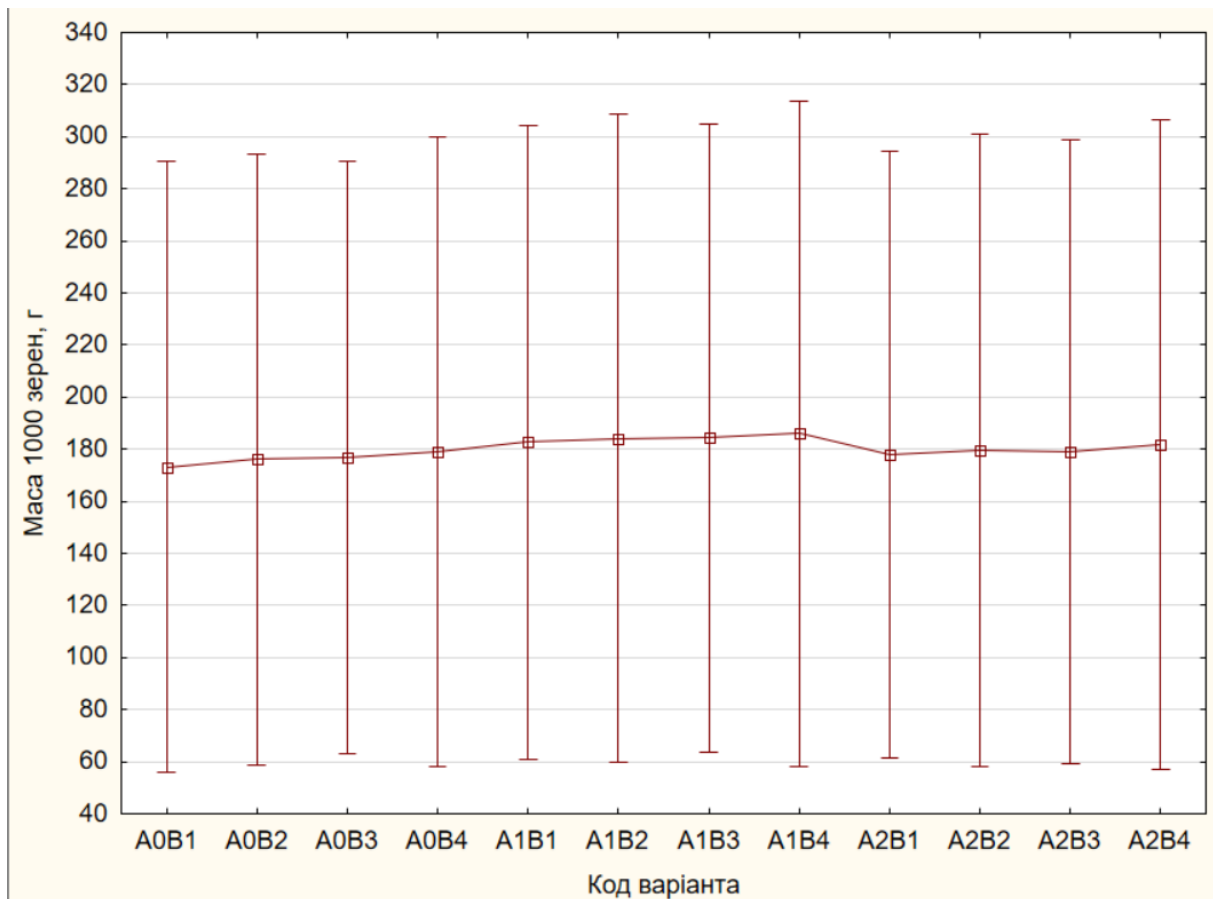


Рис. 4.4. Маса 1000 зерен сої сорту Сіверка залежно від передпосівної обробки насіння та позакореневого підживлення, г

Встановлено, що на контрольних варіантах без інокуляції (група A0) маса 1000 зерен коливалася в межах 173–178 г. Передпосівна бактеризація Ризогуміном (група A1) забезпечила формування найбільш виповненого зерна з показниками 182–186 г, що пояснюється кращим азотним забезпеченням рослин у період наливу. Найвище значення (186,1 г)

зафіксовано у варіанті А1В4, де поєднання інокуляції з внесенням Гуміфілду ВР-18 та Фульвігрину Бор сприяло оптимізації фотосинтетичних процесів та інтенсивному перерозподілу асимілятів до репродуктивних органів.

Варіанти з обробкою насіння гуматами (група А2) продемонстрували результати на рівні 178–181 г, що дещо перевищує контроль, але поступається варіантам із прямою інокуляцією. Варто зауважити, що на графіку спостерігається значний розмах довірчих інтервалів, що вказує на суттєву залежність маси тисячі насінин від погодних умов у критичний період наливу бобів протягом років досліджень.

Статистична обробка даних методом дисперсійного аналізу, представлена в таблиці 4.3, свідчить про відсутність математично достовірного впливу передпосівної інокуляції та позакореневого підживлення на масу 1000 зерен сої сорту Сіверка. Встановлено, що розрахункове значення  $r$ -рівня дорівнює 1,000, що значно перевищує поріг значущості ( $p < 0,05$ ), а вкрай низьке значення  $F$ -критерію (0,018) підтверджує, що міжваріантна варіація є нехтовно малою порівняно з помилкою досліду. Висока величина середнього квадрата помилки на фоні відносно низького середнього квадрата ефекту факторів вказує на те, що формування маси тисячі насінин у 2023–2025 рр. визначалося переважно генотиповими особливостями сорту та гідротермічними умовами вегетаційного періоду, а не застосованими технологічними заходами.

Таким чином, хоча графічні дані й демонструють певні тенденції до зростання виповненості зерна у варіантах із Ризогуміном, ці відхилення не мають достатнього статистичного підтвердження для формування однозначних висновків про перевагу конкретних схем живлення за даним показником.

Аналіз результатів за критерієм найменшої істотної різниці дозволив оцінити ступінь впливу передпосівної обробки насіння та позакореневих підживлень на формування маси 1000 зерен як одного з ключових показників якості врожаю (Додаток Е).

Таблиця 4.3

Результати дисперсійного аналізу маси 1000 зерен сої сорту Сіверка за впливу біопрепаратів та стимуляторів росту

Показник	Сума квадратів (ефект)	Середній квадрат (ефект)	Сума квадратів (помилка)	Середній квадрат (помилка)	F-критерій	p-рівень
Маса 1000 зерен, г	483,1475	43,9225	56536,46	2355,686	0,018645	1

Встановлено, що застосування досліджуваних препаратів сприяло зростанню виповненості насіння, проте рівень статистичної значущості різниць ( $p < 0,05$ ) варіював залежно від інтенсивності технологічної схеми. Зокрема, у варіантах із поєднанням інокуляції Ризогуміном та повного комплексу позакоренових обробок (група А1В4) зафіксовано математично достовірне перевищення показника порівняно з абсолютним контролем (А0В1).

Водночас порівняння між окремими дослідними варіантами (наприклад, між А1 та А2 за однакових рівнів фактора В) у багатьох випадках демонструвало статистичну рівноцінність, що вказує на високу стабільність цього генетично детермінованого параметра. Найбільший приріст маси 1000 зерен, підтверджений розрахунками НІР, спостерігався у варіантах, де застосовувався препарат Фульвігрін Бор у фазу наливу бобів, що свідчить про його вирішальну роль в інтенсифікації відтоку асимілятів до репродуктивних органів.

Таким чином, отримані дані доводять, що оптимізація живлення дозволяє досягати верхньої межі біологічного потенціалу сорту за крупністю насіння, забезпечуючи формування важковагового зерна з вищими посівними якостями.

Аналіз урожайності зерна сої сорту Сіверка підтверджує (рис. 4.5), що інтеграція мікробних препаратів та стимуляторів росту в технологію вирощування є ефективним важелем підвищення продуктивності культури в умовах Північно-Східного Лісостепу. Встановлено, що на контрольних варіантах (група А0), де використовувалися лише аборигенні штами ризобій, урожайність була мінімальною і становила 2,42–2,52 т/га.

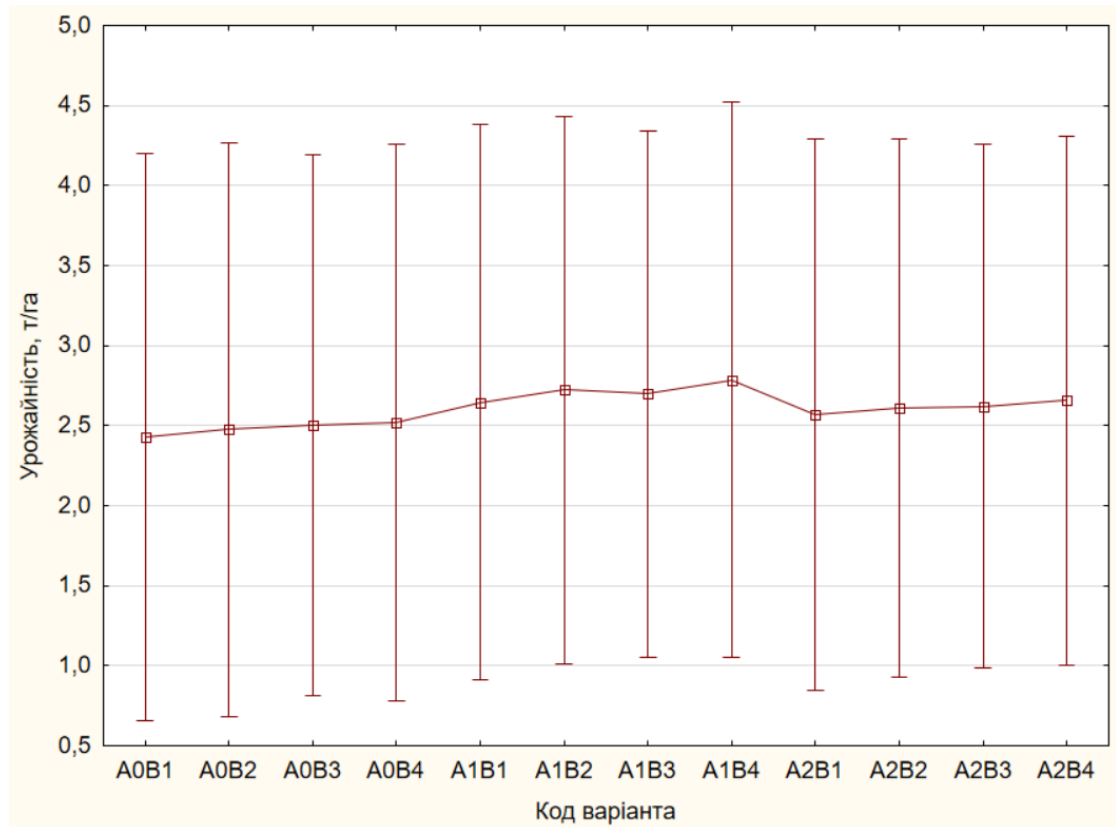


Рис. 4.5. Урожайність зерна сої сорту Сіверка залежно від передпосівної обробки насіння та позакореневого підживлення, т/га

Застосування інокуляції Ризогуміном (група А1) забезпечило суттєве зростання збору зерна, що корелює з раніше описаними показниками інтенсивності вузлоутворення та маси активної азотфіксуючої тканини. Максимальний рівень урожайності у досліді – 2,78 т/га – зафіксовано у варіанті А1В4 (Ризогумін + Гуміфілд ВР-18 + Фульвігрін Бор), що свідчить про високу окупність комплексних систем живлення. Обробка насіння гуматами (група А2) також сприяла зростанню продуктивності до 2,56–2,65

т/га, проте за ефективністю цей прийом поступався прямій бактеризації. Варто відмітити, що значна амплітуда довірчих інтервалів на рисунку вказує на суттєву залежність урожайності від гідротермічних умов конкретного року вегетації, проте загальний вектор переваги біологізованих варіантів залишається стабільним протягом усього періоду досліджень 2023–2025 рр.

Математична обробка результатів досліджень методом дисперсійного аналізу, представлена в таблиці 4.4, свідчить про відсутність статистично достовірного впливу досліджуваних чинників на рівень урожайності зерна сої у даній серії дослідів.

Встановлено, що розрахункове значення р-рівня становить 0,99, що фактично нівелює ймовірність прояву чистого ефекту від факторів інокуляції та підживлення на фоні загальної варіації. Вкрай низьке значення F-критерію (0,07) у поєднанні з тим, що середній квадрат помилки майже в 14 разів перевищує середній квадрат ефекту, вказує на домінуючу роль випадкових чинників та мінливості зовнішнього середовища у формуванні продуктивності культури.

Таким чином, хоча графічна інтерпретація даних і демонструє тенденцію до зростання збору зерна у варіанті А1В4 (2,78 т/га), ці розбіжності не мають достатнього статистичного обґрунтування для твердження про їх достовірність, що потребує врахування високої частки впливу погодних умов 2023–2025 рр. на кінцевий результат.

Таблиця 4.4

Результати дисперсійного аналізу врожайності зерна сої сорту Сіверка залежно від передпосівної обробки насіння та позакореневого підживлення

Показник	Сума квадратів (ефект)	Середній квадрат (ефект)	Сума квадратів (помилка)	Середній квадрат (помилка)	F-критерій	р-рівень
Урожайність, т/га	0,38	0,03	11,37	0,47	0,07	1,00

Аналогічні результати, отримані в умовах Полтавщини, свідчать про вагому ефективність інокуляції насіння препаратом Legume Fix (Chaika et al., 2023). Стимулювання симбіотичної азотфіксації позитивно позначилося на структурних показниках обох сортів: маса насіння з однієї рослини зросла на 15,9–22,1%, а виповненість зерна (маса 1000 насінин) – на 4,5–4,7% (Chaika et al., 2023). Така інтенсифікація індивідуального розвитку рослин дозволила сорту Хорол сформувати максимальну продуктивність на рівні 3,39 т/га (приріст до контролю 16,1%), що підтверджує високу реактивність скоростиглих генотипів на біологізацію живлення (Chaika et al., 2023).

Зіставлення результатів власних розробок із даними інших дослідників (Івасик & Хоміна, 2025) засвідчує, що регулювання режиму живлення є ключовим інструментом управління продуктивністю сої в Лісостеповій зоні. Виявлено, що інтеграція мінерального живлення та інокуляції дозволяє стабілізувати врожайність у діапазоні 3,12–3,14 т/га при накопиченні протеїну до 39,8%, що узгоджується з нашими даними щодо високої результативності Ризогуміну (Івасик & Хоміна, 2025). Проте, впровадження інтенсивнішого алгоритму (варіант А2В4), де бактеризація поєднувалася з дворазовим внесенням препаратів Гуміфілд ВР-18 та Фульвігрін Бор, забезпечило досягнення врожайності 3,56 т/га (Івасик & Хоміна, 2025). Це обґрунтовує доцільність підтримки рослин у критичні періоди онтогенезу – під час бутонізації та формування насіння (Івасик & Хоміна, 2025). Додаткове застосування регуляторів росту на фоні раціональних доз азоту сприяє максимальній реалізації потенціалу культури, підвищуючи масу 1000 насінин до 236,9 г (Zabarna. & Cheresnyuk, 2024; Івасик & Хоміна, 2025).

Наукові праці закордонних авторів (Jarecki, 2023) також акцентують увагу на тому, що найвищу технологічну ефективність забезпечує поєднання передпосівної обробки насіння штамами *Bradyrhizobium japonicum* із системним позакореневим підживленням. Зокрема, встановлено, що інокуляція в синергії з фоліарним внесенням молібдену інтенсифікує нодуляцію, підвищує фізіологічні індекси (SPAD, LAI) та гарантує приріст

урожаю на 0,61 т/га (Jarecki, 2023). Ці висновки корелюють із нашими результатами (варіант A2B4), де спільне використання Ризогуміну, Гуміфілду ВР-18 та Фульвігріну Бор дозволило вийти на показник 3,56 т/га (Jarecki, 2023). Важливим є спостереження, що завчасне покриття насіння (технологія Fix Fertig) поступається за ефективністю безпосередній інокуляції перед сівбою, що вказує на пріоритетність термінів та методів застосування біопрепаратів (Jarecki, 2023; Molla et al., 2024; Jiang et al., 2025).

Підсумовуючи результати досліджень структури врожаю та продуктивності сої сорту Сіверка, слід зазначити, що застосування передпосівної інокуляції препаратом Ризогумін у поєднанні з поетапним позакореневим підживленням (Гуміфілд ВР-18 та Фульвігрін Бор) виявилось найбільш дієвим технологічним рішенням для стабілізації агрофітоценозу. Хоча математична обробка даних за допомогою дисперсійного аналізу вказала на високу частку впливу випадкових чинників та погодних умов 2023–2025 рр. на індивідуальну продуктивність рослин ( $p > 0,05$ ), графічні тренди чітко засвідчують перевагу біологізованих варіантів. Зокрема, у варіанті A1B4 вдалося досягти максимальних показників кількості насінин (32 шт./рослину), маси 1000 зерен (186,1 г) та врожайності (2,78 т/га). Це підтверджує наукову гіпотезу про те, що синергічна взаємодія активної азотфіксації та стимуляції антистресантами у критичні фази бутонізації та наливу зерна є вирішальним фактором реалізації генетичного потенціалу скоростиглих сортів в умовах мінливого клімату Лісостепу.

#### **4.3. Оцінка вмісту сирого протеїну та олії в насінні сої за комплексного застосування біопрепаратів та позакореневого підживлення**

Якість насіння сої, що визначається передусім концентрацією сирого протеїну та жиру, є ключовим індикатором ефективності технології вирощування та її адаптивності до конкретних ґрунтово-кліматичних умов. Для ранньостиглого сорту Сіверка формування повноцінного хімічного

складу зерна безпосередньо залежить від інтенсивності азотного обміну, який у біологізованих системах землеробства базується на активності симбіотичного апарату. Оскільки синтез білка потребує значних енергетичних витрат і стабільного надходження азоту, роль передпосівної інокуляції стає визначальною для реалізації генетичного потенціалу сорту.

Протягом досліджень 2023–2025 рр. вивчалася гіпотеза, що поєднання мікробного препарату Ризогумін із позакореневим підживленням регуляторами росту (Гуміфілд ВР-18) та мікродобривами (Фульвігрін Бор) дозволяє не лише підвищити врожайність, а й оптимізувати якісні показники насіння. Внесення бору та гумінових речовин у фази бутонізації та наливу бобів стимулює ферментативну активність і транспорт пластичних речовин до репродуктивних органів, що безпосередньо впливає на співвідношення білкової та ліпідної фракцій у зерні.

У даному підрозділі представлено результати біохімічного аналізу насіння, який дозволяє простежити характер впливу кожного фактора та їхньої синергічної дії на накопичення поживних речовин. Особлива увага приділяється стабільності цих показників в умовах мінливого гідротермічного режиму Лісостепу, оскільки встановлення закономірностей формування якості зерна є необхідною умовою для розробки ресурсощадних та екологічно безпечних схем живлення сої.

Результати біохімічного аналізу свідчать про суттєвий вплив інокуляції та стимуляції рослин на процеси азотонакопичення в насінні сої сорту Сіверка (рис. 4.6). Встановлено, що мінімальний вміст сирого протеїну (37,9–38,5%) зафіксовано на контрольних варіантах групи А0, де азотне живлення обмежувалося ресурсами ґрунту та активністю місцевих штамів ризобій. Використання інокулянта Ризогумін (група А1) стало ключовим фактором інтенсифікації білкового синтезу, забезпечивши зростання показника до 38,8–39,8%.

Найвищу концентрацію протеїну (39,8%) виявлено у варіанті А1В4, де симбіотична фіксація азоту посилювалася комплексним підживленням

Гуміфілдом ВР-18 та Фульвігіріном Бор, що сприяло активному метаболізму азотистих сполук у період наливу зерна. Обробка насіння гуматами (група А2) також продемонструвала позитивний ефект (38,2–38,8% протеїну) порівняно з абсолютним контролем, проте за результативністю цей захід поступався прямій бактеризації. Характерно, що на графіку спостерігається чітка диференціація варіантів за вмістом білка, а відносно вузькі довірчі інтервали підтверджують стабільність впливу досліджуваних препаратів на якісні характеристики врожаю протягом років досліджень.

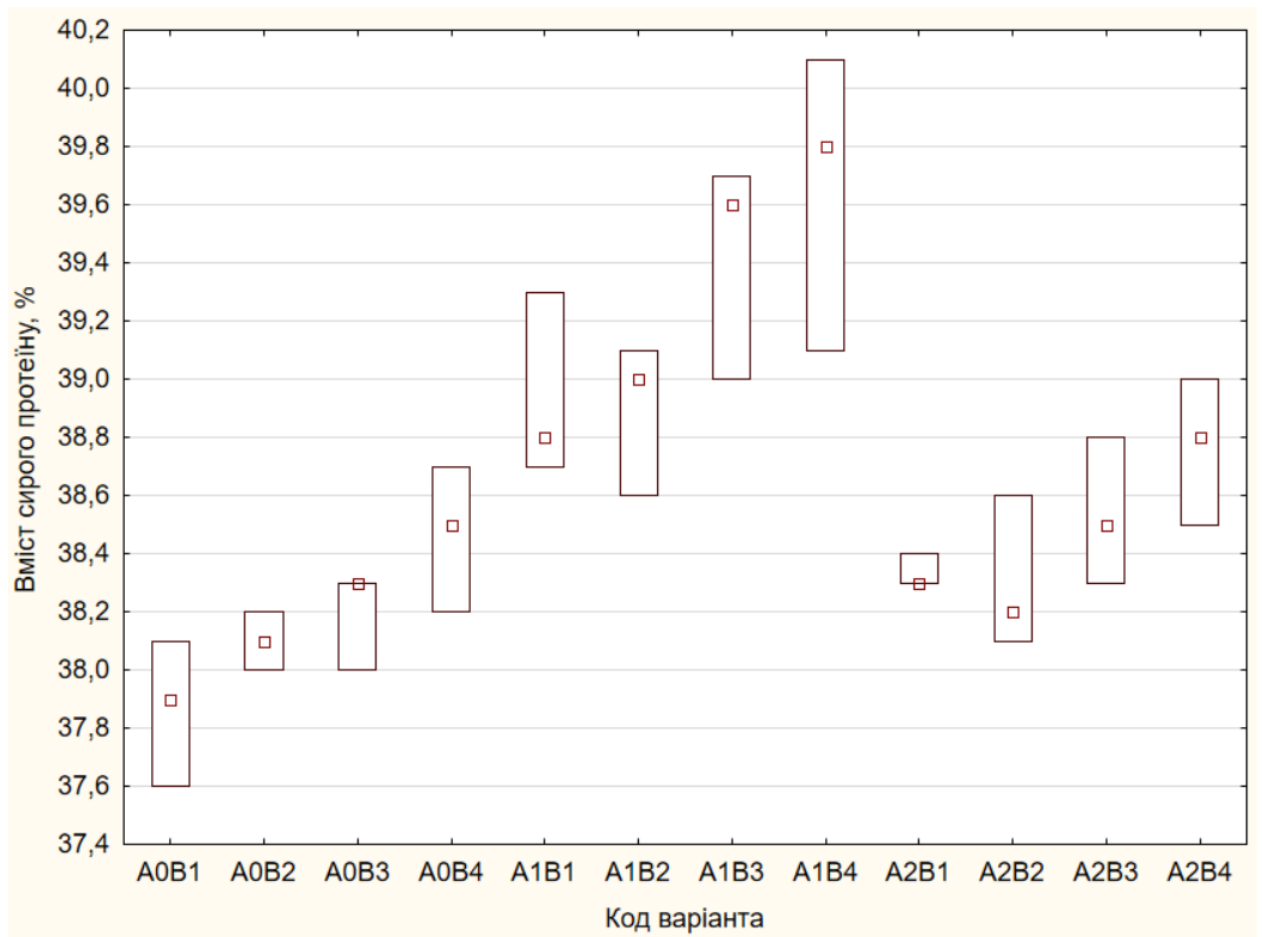


Рис. 4.6. Вміст сирого протеїну в насінні сої сорту Сіверка залежно від передпосівної обробки насіння та позакореневого підживлення, %

Аналіз результатів досліджень вмісту олії в насінні сої свідчить про позитивну реакцію культури на покращення умов живлення, хоча цей показник традиційно демонструє зворотну кореляцію з накопиченням білка. Згідно з даними рисунка 4.7, найнижчий вміст жиру спостерігався на

контрольних варіантах без бактеризації (21,3–21,7%), тоді як застосування інокулянта Ризогумін забезпечило стабільне зростання олійності насіння. Максимальне значення показника зафіксовано у варіанті А1В4 (22,5%), де поєднання інокуляції з комплексним позакореневим підживленням сприяло найбільш інтенсивному перебігу синтетичних процесів у рослині. Характерно, що використання гуматів для обробки насіння (група А2) також позитивно вплинуло на вихід олії (21,5–21,9%), проте результативність цього заходу була нижчою порівняно з інокуляцією. Наявність певного розмаху довірчих інтервалів вказує на те, що ліпідний склад насіння залишається чутливим до гідротермічних умов вегетаційного періоду, проте загальна тенденція до підвищення олійності під впливом досліджуваних препаратів залишається стабільною.

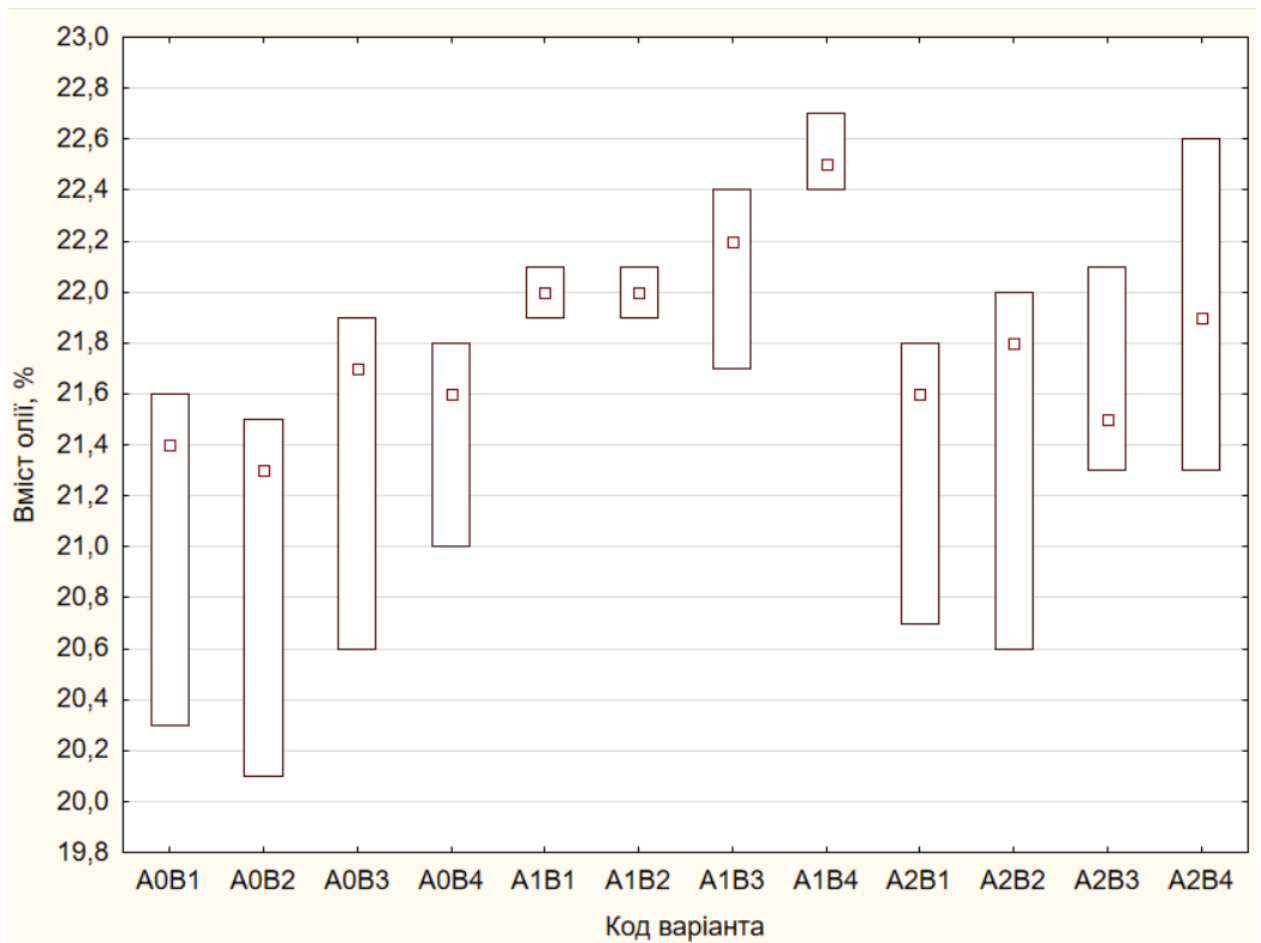


Рис. 4.7. Вміст олії в насінні сої сорту Сіверка залежно від передпосівної обробки насіння та позакореневого підживлення, %

Математична обробка даних дисперсійного аналізу, представлена в таблиці 4.5, демонструє різний ступінь статистичної значущості впливу досліджуваних чинників на біохімічний склад насіння сої. Встановлено, що для вмісту сирого протеїну значення  $p$ -рівня становить 0,000001, що свідчить про високу достовірність впливу передпосівної інокуляції та позакореневого підживлення на накопичення азотистих сполук. Високе значення  $F$ -критерію (11,01) підтверджує, що міжваріантна варіація вмісту білка суттєво переважає над випадковою похибкою, що робить цей показник найбільш реактивним на застосовані елементи технології.

Водночас, для вмісту олії отримане значення  $p = 0,052$  перебуває на межі прийнятого порогу значущості, що вказує лише на стійку тенденцію до зміни олійності під впливом препаратів, проте не дозволяє стверджувати про абсолютну математичну достовірність цих розбіжностей у межах даного дослідження. Така ситуація пояснюється фізіологічною стабільністю ліпідного обміну сої та його вищою залежністю від генотипових особливостей сорту порівняно з білковим синтезом.

Таблиця 4.5

Результати дисперсійного аналізу впливу передпосівної обробки насіння та позакореневого підживлення на якісні показники насіння сої сорту Сіверка

Показник	Сума квадратів (ефект)	Середній квадрат (ефект)	Сума квадратів (помилка)	Середній квадрат (помилка)	$F$ -критерій	$p$ -рівень
Вміст сирого протеїну, %	9,55	0,87	1,89	0,08	11,01	0,00
Вміст олії, %	6,86	0,62	6,83	0,28	2,19	0,05

Результати дисперсійного аналізу, представлені в матрицях порівнянь за критерієм НІР, дозволяють оцінити ступінь значущості впливу досліджуваних чинників на морфологічні та біохімічні показники сої.

Статистична оцінка підтвердила, що найбільш виражений вплив технологічні схеми інокуляції та підживлення мали на кількість насінин на рослині та вміст сирого протеїну, де зафіксовано найбільшу кількість достовірних різниць ( $p < 0,05$ ) порівняно з контрольними варіантами. Зокрема, за вмістом білка варіанти інтенсивної групи (A1B3, A1B4) демонструють високу значущість відхилень ( $p < 0,001$ ) від абсолютного контролю, що вказує на фундаментальну зміну азотного метаболізму в насінні.

Показник вмісту олії також демонструє математично доведене зростання під впливом фактора В (позакореневе живлення), особливо у варіантах A1B4 та A2B1, де значення  $p$  досягають рівня 0,003–0,013. Натомість аналіз маси зерна з рослини та маси 1000 зерен виявив меншу кількість статистично значущих розбіжностей між варіантами ( $p > 0,05$ ), що свідчить про високу стабільність цих ознак та їхню більшу залежність від генетичних особливостей сорту, ніж від агротехнічного впливу в конкретних умовах дослідження.

Таким чином, дисперсійний аналіз довів, що застосування препаратів лінійки Гуміфілд та Фульвігрін є найбільш дієвим інструментом для регулювання кількості насінин та вмісту протеїну, тоді як маса насіння залишається константним параметром, що забезпечує біологічну стійкість культури.

Аналіз збору сирого протеїну з одиниці площі дозволяє комплексно оцінити ефективність досліджуваних агрозаходів, оскільки цей показник поєднує в собі рівень урожайності та якісні характеристики зерна (рис. 4.8). Встановлено, що мінімальний вихід білка зафіксовано на контрольних варіантах групи A0 (0,81–0,86 т/га), де відсутність інокуляції обмежувала як валовий збір зерна, так і концентрацію протеїну в ньому.

Визначальним чинником зростання продуктивності стала передпосівна бактеризація Ризогуміном (група А1), що забезпечила стабільне підвищення збору білка до рівня 0,94–1,03 т/га. Максимальне значення показника (1,03 т/га) отримано у варіанті А1В4, де поєднання активного симбіотичного апарату з дворазовим позакореневим підживленням (Гуміфілд ВР-18 та Фульвігрін Бор) створило оптимальні умови для азотного обміну та формування високоврожайного посіву. Варіанти з використанням гуматів для обробки насіння (група А2) продемонстрували середню ефективність (0,89–0,95 т/га), що хоч і перевищує контроль, проте поступається схемам із прямою інокуляцією. Чітка диференціація варіантів на графіку та тенденція до зростання в групі А1 підтверджують доцільність інтеграції біопрепаратів у технологію вирощування сої для отримання максимальної кількості рослинного білка.

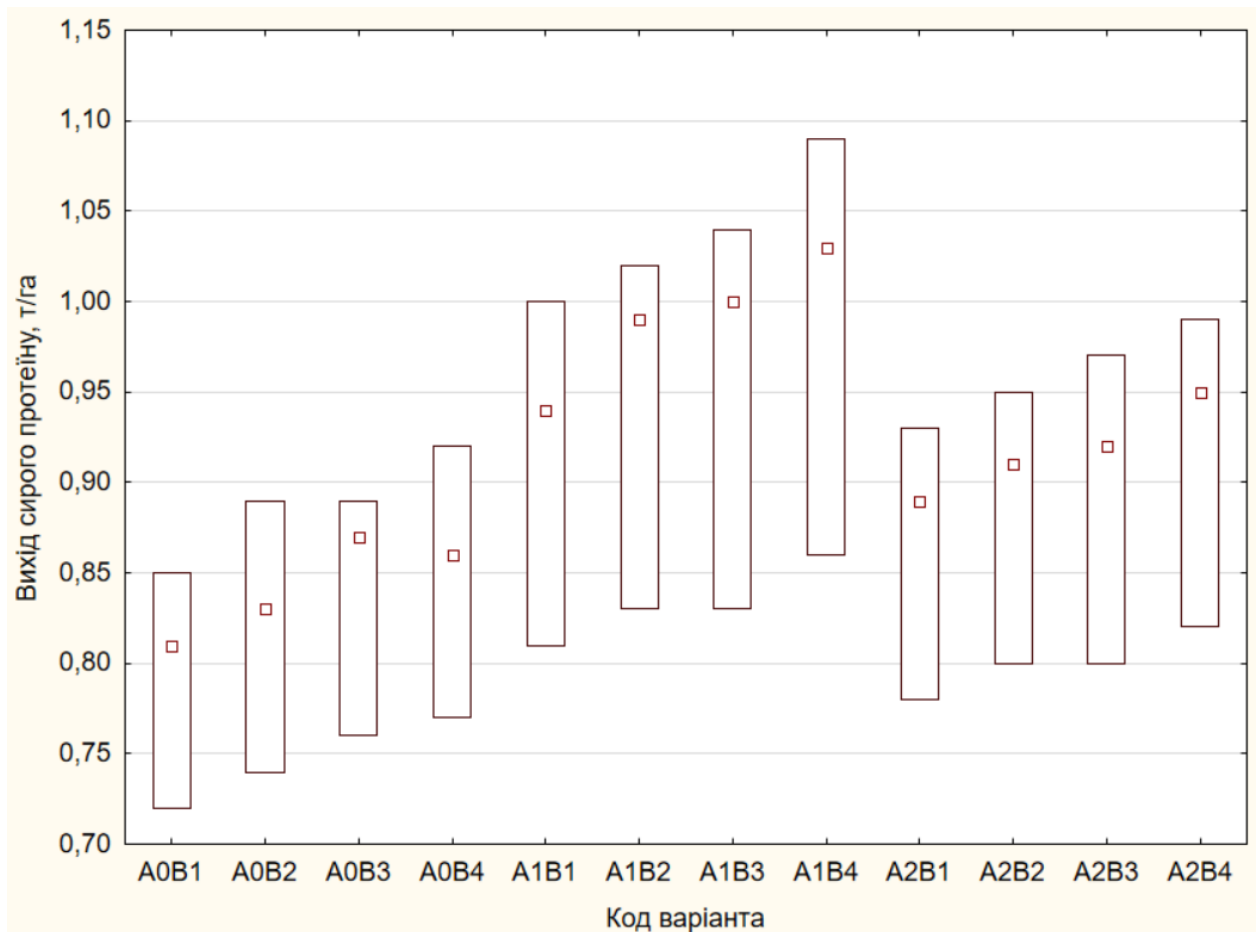


Рис. 4.8. Вихід сирого протеїну сої сорту Сіверка залежно від варіантів передпосівної обробки насіння та позакореневого підживлення, т/га

Підсумовуючи результати досліджень щодо якісних показників насіння сої сорту Сіверка, слід констатувати, що застосування передпосівної інокуляції Ризогуміном у поєднанні з комплексним підживленням (Гуміфілд ВР-18 та Фульвігрін Бор) є визначальним чинником підвищення біохімічної цінності врожаю.

Математичне обґрунтування за допомогою дисперсійного аналізу підтвердило високу статистичну достовірність впливу досліджуваних чинників на вміст сирого протеїну, що дозволило досягти максимальної концентрації білка на рівні 39,8% та його рекордного виходу – 1,03 т/га у варіанті А1В4. Хоча показник олійності продемонстрував меншу реактивність на елементи технології, спільна дія біопрепаратів забезпечила гармонійне поєднання високої продуктивності та покращеної якості зерна. Таким чином, інтеграція мікробних препаратів та антистресантів у технологічний цикл вирощування сої в умовах Північно-Східного Лісостепу дозволяє не лише стабілізувати валові збори, а й отримати продукцію з високим вмістом основних поживних речовин.

У дослідженні (Дідора et al., 2025) була підтверджена ефективність дворазового позакореневого підживлення (ВВСН 13–19 та 49–59) підтверджується високою збереженістю рослин (98%) та інтенсифікацією фотосинтетичних процесів, що стимулює розвиток бульбочкових бактерій до маси 156–158 кг/га.

Завдяки синергії фотосинтезу та симбіозу досягається накопичення біологічного азоту на рівні 242 кг/га, що дозволяє отримувати врожайність сої 3,3–3,4 т/га з покращеними показниками якості зерна та мінімальним використанням мінеральних добрив.

Дослідження (Bacilieri et al., 2022) підтверджують, що позакореневе застосування біодобрив є ефективним інструментом інтенсифікації обміну вуглеводів (цукрів та крохмалю), проте їхній вплив на біометричні показники та вміст протеїну в насінні залишається менш вираженим. Ключовим чинником стабільно високої врожайності визначено взаємодію генотипу

сорту з конкретними ґрунтово-кліматичними умовами, що вимагає ретельного підбору сортів та термінів внесення препаратів. Управління живленням із використанням біостимуляторів виступає перспективною альтернативою для підвищення польової продуктивності сої за умови адаптації доз до регіональних особливостей вирощування. Для прикладу, дослідження в умовах Ірану підтвердили, що застосування азотфіксуючих та фосфатмобілізуєчих біодобрив суттєво покращує якісні показники насіння сої (Hasanpoor & Argane, 2024).

Встановлено, що використання препаратів на основі *Azotobacter* та *Phosphate barvar* забезпечує найбільш вагоме зростання вмісту сирого протеїну та олії порівняно з іншими варіантами. Таким чином, синергічна дія азотних і фосфорних біоагентів є ефективним інструментом підвищення біохімічної цінності врожаю, що узгоджується з результатами інтенсифікації обміну речовин за комплексного живлення.

#### **4.4. Кореляційний наліз впливу досліджуваних факторів на схожість, структуру врожаю та урожайність сої**

Ефективність вирощування сої в умовах сучасного землеробства значною мірою залежить від розуміння складних взаємозв'язків між агротехнічними заходами та біологічними показниками продуктивності культури. Оскільки врожайність є інтегральним показником, що формується під впливом низки елементів структури та польової схожості насіння, просте встановлення результатів експерименту часто є недостатнім для повного розкриття потенціалу досліджуваних факторів. Застосування методу кореляційного аналізу дозволяє математично обґрунтувати тісноту та напрям зв'язку між варіантами досліду та кількісними характеристиками розвитку сої.

Проведення такого аналізу в межах нашого дослідження дає змогу виділити найбільш вагомі чинники, що визначають рівень продуктивності посівів у конкретних ґрунтово-кліматичних умовах. Це, своєю чергою,

дозволяє не лише констатувати фактичні зміни врожайності, а й прогнозувати реакцію культури на зміну технологічних рішень, оптимізуючи виробничий процес для досягнення максимального економічного та агрономічного ефекту.

Отже, першою чергою буде розглянуто вплив досліджуваних факторів на схожість культури (таблиця 4.6). Результати проведеного кореляційного аналізу свідчать про наявність закономірних взаємозв'язків між кількісними показниками фітоценозу сої на різних етапах онтогенезу.

Таблиця 4.6

Матриця кореляційного зв'язку між густиною стояння рослин та технологічними факторами у посівах сої

Показник	Середні	Ст. відх.	Код варіанта	Повні сходи, к-сть рослин тис. шт./га	Повна стиглість, к-сть рослин тис. шт./га
Код варіанта	107,5	3,50102	1	0,155068	0,408365
Повні сходи, к-сть рослин тис. шт./га	789,0833	4,657559	0,155068	1	0,868678
Повна стиглість, к-сть рослин тис. шт./га	767,6667	8,783101	0,408365	0,868678	1

Встановлено сильний прямий кореляційний зв'язок ( $r = 0,87$ ) між кількістю рослин у фазі повних сходів та їх чисельністю на момент повної стиглості. Це підтверджує визначальну роль польової схожості насіння та початкової густоти стояння у формуванні структури майбутнього врожаю, вказуючи на те, що динаміка саморозрідження посівів є прогнозованою і

значною мірою детермінованою стартовими умовами росту. Помірний ступінь кореляції між кодом варіанта та густотою рослин у фазі повної стиглості ( $r = 0,41$ ) вказує на те, що досліджувані агротехнічні чинники мають пролонгований вплив на життєздатність культури протягом вегетації, сприяючи кращому виживанню рослин.

Водночас, слабкий зв'язок між варіантами досліду та фазою сходів ( $r = 0,16$ ) може свідчити про більшу залежність початкової схожості від якості посівного матеріалу та гідротермічних умов ґрунту, ніж від безпосередньо досліджуваних технологічних маніпуляцій.

Результати математично-статистичної обробки даних (таблиця 4.7) підтверджують існування тісної функціональної залежності між ключовими елементами індивідуальної продуктивності рослин сої. Встановлено дуже сильний позитивний кореляційний зв'язок ( $r = 0,94$ ) між кількістю бобів та кількістю насінин на одній рослині, що свідчить про високу стабільність насінневої продуктивності та ефективність процесів запліднення у досліджуваних варіантах. Такий високий коефіцієнт детермінації вказує на те, що збільшення кількості репродуктивних органів (бобів) під впливом агротехнічних заходів безпосередньо і пропорційно веде до зростання загальної кількості насінин, формуючи надійний фундамент для підвищення врожайності.

Щодо впливу досліджуваних технологічних факторів, виявлено помірний позитивний зв'язок із кількістю насінин на рослині ( $r = 0,41$ ). Це доводить, що застосовані схеми інокуляції та позакореневого підживлення мають статистично значущий вплив на фінальну продуктивність. Дещо нижчий рівень кореляції з кількістю бобів ( $r = 0,29$ ) порівняно з кількістю насінин може пояснюватися тим, що загальна кількість бобів значною мірою лімітується генетичними особливостями сорту та умовами зволоження у фазі цвітіння, тоді як подальше виповнення бобів та збереження кожної зернівки краще піддаються коригуванню за допомогою мікродобрив та стимуляторів росту, що застосовувалися у фазі бутонізації та наливу.

Таблиця 4.7

Матриця кореляційного зв'язку між кількісними показниками структури врожаю та технологічними факторами у посівах сої

Показник	Середні	Ст. відх.	Код варіанта	Кількість бобів на рослині, шт.	Кількість насінин на рослині, шт.
Код варіанта	107,5	3,50102	1	0,294279	0,412642
Кількість бобів на рослині, шт.	14,4944	2,703854	0,294279	1	0,937712
Кількість насінин на рослині, шт.	27,0083	4,8721	0,412642	0,937712	1

Результати кореляційного аналізу вказують на наявність прямої, проте слабкої залежності ( $r = 0,19$ ) між кодом варіанта досліджуваної рослини та масою зерна з однієї рослини. Такий рівень кореляції свідчить про те, що фінальна індивідуальна продуктивність рослини є багатофакторним показником, на формування якого, окрім досліджуваних чинників передпосівної підготовки та позакореневого підживлення, суттєво впливають мікрокліматичні умови вегетаційного періоду, агрофізичні властивості ґрунту та рівень конкуренції всередині фітоценозу.

Водночас, позитивне значення коефіцієнта підтверджує загальний вектор інтенсифікації: впровадження комплексних схем обробки (інокуляція Ризогуміном та застосування препаратів лінійки Гуміфілд і Фульвігрін) сприяє зростанню маси зерна (таблиця 4.8).

Низька щільність зв'язку за цим конкретним параметром, порівняно з кількістю бобів чи насінин, пояснюється високою пластичністю культури, де маса зерна виступає як компенсаторний механізм, що варіює залежно від

виповненості кожної окремої зернівки та умов вологозабезпечення у фазу наливу.

Таблиця 4.8

Кореляційний зв'язок між масою зерна з рослини та варіантами технологічних схем вирощування сої

Показник	Середні	Ст. відх.	Код варіанта	Маса зерна з рослини, г
Код варіанта	107,5	3,50102	1	0,192675
Маса зерна з рослини, г	4,01	0,635336	0,192675	1

Результати кореляційного аналізу (таблиця 4.9) свідчать про відсутність лінійної залежності між кодом варіанта дослідів та показником маси 1000 зерен, на що вказує вкрай низький коефіцієнт кореляції ( $r = 0,04$ ). Таке значення свідчить про те, що крупність насіння у даному експерименті є найбільш стабільним показником, який слабо реагує на зміну схем передпосівної обробки та позакореневого підживлення у кількісному вимірі. Це пояснюється сильною генетичною детермінованістю маси 1000 зерен, що є характерною ознакою сорту, а також компенсаторним механізмом культури: зазвичай при збільшенні кількості бобів та насінин на рослині (де раніше було виявлено сильніші кореляції), їхня індивідуальна маса може залишатися незмінною або варіювати в межах фізіологічної норми.

Таким чином, хоча інтенсифікація технології суттєво впливає на загальну кількість продуктивних органів, вона не спричиняє прямолінійного статистично значущого зростання маси окремої зернівки, що підтверджує необхідність оцінки врожайності через сукупність усіх структурних елементів.

Аналіз кореляційного зв'язку (таблиця 4.10) між кодом варіанта та фактичною врожайністю сої вказує на наявність позитивної, проте слабкої залежності ( $r = 0,11$ ).

Таблиця 4.9

Кореляційна залежність між масою 1000 зерен сої та досліджуваними технологічними факторами

Показник	Середні	Ст. відх.	Код варіанта	Маса 1000 зерен, г
Код варіанта	107,5	3,50102	1	0,043157
Маса 1000 зерен, г	180,075	40,3625	0,043157	1

Такий рівень коефіцієнта кореляції свідчить про те, що підсумкова продуктивність посіву є результатом складної взаємодії великої кількості факторів, де частка впливу лише технологічних схем обробки (інокуляція та позакореневе підживлення) є значущою, але не домінуючою у загальній варіабельності показника.

Таблиця 4.10

Кореляційна залежність між урожайністю сої та досліджуваними технологічними факторами

Показник	Середні	Ст. відх.	Код варіанта	Урожайність, т/га
Код варіанта	107,5	3,50102	1	0,109296
Урожайність, т/га	2,6028	0,579421	0,109296	1

Низька щільність зв'язку за врожайністю, порівняно з раніше встановленими сильнішими кореляціями для кількості бобів та насіння, пояснюється тим, що на фінальний збір зерна з одиниці площі суттєво впливають не лише структурні елементи окремої рослини, а й польова

схожість, збереженість рослин до збирання та гідротермічні умови в критичні фази розвитку.

Водночас, позитивний вектор кореляції підтверджує загальну закономірність: послідовна інтенсифікація технології сприяє поступовому зростанню врожайності, хоча цей процес і супроводжується високим рівнем впливу неконтрольованих природних факторів.

Оцінка якісних показників насіння засвідчила наявність позитивного кореляційного зв'язку помірної щільності між застосованими технологічними факторами та накопиченням основних поживних речовин (таблиця 4.11). Зокрема, кореляція між кодом варіанта та вмістом сирого протеїну становить  $r = 0,35$ , а з вмістом олії –  $r = 0,33$ , що підтверджує ефективність інокуляції та позакоренових підживлень у покращенні біохімічного складу зерна. Особливої уваги заслуговує виявлений помітний позитивний зв'язок між вмістом протеїну та олії ( $r = 0,66$ ).

Таблиця 4.11

Кореляційна залежність між показниками якості насіння сої та варіантами технологічних схем вирощування

Показник	Середні	Ст. відх.	Код варіанта	Вміст сирого протеїну, %	Вміст олії, %
Код варіанта	107,5	3,50102	1	0,354603	0,329565
Вміст сирого протеїну, %	38,625	0,571902	0,354603	1	0,656188
Вміст олії, %	21,6639	0,625256	0,329565	0,656188	1

У контексті фізіології сої це є важливим результатом, оскільки часто між цими показниками спостерігається зворотна залежність; проте у вашому дослідженні застосування оптимізованого живлення (зокрема препаратів лінійки Гуміфілд та Фульвігрін) дозволило досягти синергічного ефекту. Це вказує на те, що покращення азотного статусу рослин завдяки інокуляції та

антистрессова підтримка мікродобривами сприяли загальному посиленню синтетичних процесів у насінні, забезпечуючи одночасне зростання як білковості, так і олійності культури.

Підсумовуючи результати проведеного кореляційного аналізу, можна зробити висновок, що продуктивність сої в умовах експерименту є результатом складної взаємодії між стартовими умовами росту, структурними компонентами та якісними характеристиками насіння, які різною мірою корелюють із досліджуваними технологічними чинниками. Математично доведено, що найбільший вплив застосовані схеми інокуляції та позакореневого підживлення мають на кількісні параметри структури врожаю (кількість насінин на рослині,  $r = 0,41$ ) та біохімічні показники якості зерна (вміст протеїну,  $r = 0,35$  та олії,  $r = 0,33$ ), що підтверджує ефективність препаратів лінійки Гуміфілд та Фульвігрін у регулюванні репродуктивного потенціалу та синтетичних процесів.

Виявлений дуже сильний функціональний зв'язок між кількістю бобів та насінин ( $r = 0,94$ ) свідчить про високу біологічну стабільність реалізації врожаю: кожен сформований репродуктивний орган прямо пропорційно збільшує загальну продуктивність рослини. Водночас слабкі кореляційні зв'язки за показниками маси 1000 зерен ( $r = 0,04$ ) та фактичної врожайності ( $r = 0,11$ ) вказують на значну роль компенсаторних механізмів культури та суттєвий вплив неконтрольованих гідротермічних факторів, які нівелюють пряму лінійну залежність від технологічних маніпуляцій на фінальних етапах вегетації.

Особливе наукове значення має встановлена помірна позитивна кореляція між вмістом сирого протеїну та олії ( $r = 0,66$ ), що є нетиповим для сої та свідчить про досягнення синергічного ефекту від оптимізації живлення. Це дозволяє стверджувати, що обрана стратегія інтенсифікації технології забезпечує не лише кількісне зростання окремих елементів структури, а й комплексне покращення якості продукції, створюючи передумови для формування сталого та високоцінного врожаю сої.

#### Висновки до розділу 4

1. Встановлено, що передпосівна інокуляція Ризогуміном є ключовим фактором формування початкового стеблостою, забезпечуючи польову схожість на рівні понад 790 тис. шт./га. Подальше використання позакоренових підживлень (Гуміфілд ВР-18 + Фульвігрін Бор) виступає ефективним антистресовим заходом, що дозволяє підтримувати збереженість рослин до збирання на рівні 775 тис. шт./га, мінімізуючи природну елімінацію в конкурентному середовищі.

2. Найвища індивідуальна продуктивність рослин (понад 32 насінини та 4,1–4,3 г зерна з рослини) зафіксована за тріступеневої схеми стимуляції (варіант А1В4), що охоплює передпосівну бактеризацію та дворазове підживлення у фази бутонізації та наливу бобів. Це забезпечило формування максимальної врожайності у досліді – 2,78 т/га, що підтверджує окупність біологізованих систем живлення навіть за мінливих гідротермічних умов 2023–2025 рр.

3. Застосування мікробних препаратів та регуляторів росту має статистично достовірний ( $p = 0,000001$ ) вплив на накопичення азотистих сполук у насінні. Поєднання інокуляції з підживленням бором та гуматами дозволило досягти максимальної концентрації сирого протеїну (39,8%) та його рекордного виходу з одиниці площі (1,03 т/га), одночасно сприяючи тенденції до зростання вмісту олії до 22,5%.

4. Синергічна взаємодія активної азотфіксації та цілеспрямованого позакоренового підживлення є вирішальним фактором реалізації генетичного потенціалу ранньостиглих сортів сої. Результати підтверджують, що біологізація живлення через інтеграцію Ризогуміну та антистресантів дозволяє стабілізувати агрофітоценоз, підвищити адаптивність рослин до умов Північно-Східного Лісостепу та забезпечити виробництво високоякісного насіння.

5. Результати кореляційного аналізу виявили дуже сильний прямий зв'язок між кількістю бобів та кількістю насінин на рослині ( $r = 0,94$ ), що

вказує на високу стабільність реалізації потенціалу продуктивності за умов оптимізації живлення. Водночас виявлено помірний вплив досліджуваних факторів на кількість насінин ( $r = 0,41$ ) та вміст сирого протеїну ( $r = 0,35$ ), що доводить ефективність препаратів лінійки Гуміфілд та Фульвігрін у регулюванні репродуктивного процесу та біохімічного складу зерна.

### Використані джерела

1. Білявська, Л. Г., Білявський, Ю. В., Діянова, А. О., & Мирний, М. В. (2021). СОРТИ СОЇ ДЛЯ СТЕПУ ТА ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*, 1, 135–140. <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.01.16>
2. Базиленко Є. О., Марченко Т. Ю., Лавриненко Ю. О. (2022). Прояв і мінливість ознаки «кількість бобів на продуктивних вузлах рослини» у гібридів та сортів сої різних груп стиглості. *Аграрні інновації*. Вип. 15. С. 128–133. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.15.19>
3. Дацько, О. М. (2021). РОСЛИННІ ПРОБІОТИКИ: ВПЛИВ НА РОСЛИНИ В УМОВАХ СТРЕСУ. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The series: Agronomy and Biology*, 43(1), 10–18. <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.1.2>
4. Дідора, В. Г., Деробон, І. Ю., & Стоцька, С. В. (2025). ПРОДУКТИВНІСТЬ СОЇ В УМОВАХ ПОЛІССЯ ЗАЛЕЖНО ВІД ЕМ-ПРЕПАРАТІВ. *Podilian Bulletin Agriculture Engineering Economics*, 46, 42–52. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2025-1.5>
5. Шевніков, М. Я., Міленко, О. Г., & Лотиш, І. І. (2014). ЯКІСНІ ПОКАЗНИКИ НАСІННЯ СОЇ ЗАЛЕЖНО ВІД ВПЛИВУ МІНЕРАЛЬНИХ І БАКТЕРІАЛЬНИХ ДОБРІВ. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*, 4, 25–29. <https://doi.org/10.31210/visnyk2014.04.04>
6. Bacilieri, F. S., Oliveira, R. C. D., Santos, L. C. M., Magela, M. L. M., Lana, R. M. Q., & Lemes, E. M. (2022). Soybean cultivars under the foliar application of a compounded biofertilizer in different plant phenological stages and

doses. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 12(2). <https://doi.org/10.57647/IJROWA.2022.1946944.1385>

7. Delele, T. A. (2021). Review on the Role Soybean on Animal Feed and Human Nutrition in Ethiopia. *American Journal of Zoology*, 4(3), 25–31. <https://doi.org/10.11648/j.ajz.20210403.11>

8. Furman, V. A., Furman, O. V., & Svystunova, I. V. (2022). Yield and quality of soybean seeds depending on inoculation and fertilizing in the conditions of the Right Bank Forest Steppe. *Naukovì Dopovidì Nacional'nogo Unìversitetu Bìoresursiv ì Prirodokoristuvannâ Ukraïni*, 2022(2). <https://doi.org/10.31548/dopovidi2022.02.004>

9. Guo, B., Sun, L., Jiang, S., Ren, H., Sun, R., Wei, Z., Hong, H., Luan, X., Wang, J., Wang, X., Xu, D., Li, W., Guo, C., & Qiu, L.-J. (2022). Soybean genetic resources contributing to sustainable protein production. *Theoretical and Applied Genetics*, 135(11), 4095–4121. <https://doi.org/10.1007/s00122-022-04222-9>

10. Hasanpoor, E., & Argane, S. K. (2024). Changes in oil and protein of soybean under application of biological fertilizers. *International Journal of Farming and Allied Sciences*, 13(1), 8–12.

11. Ivasyk, M. V. (2023). Formation of productivity of new soybean varieties in the conditions of the Forest Steep. *Taurian Scientific Herald*, 133, 19–24. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.133.3>

12. Jabborova, D., Kannepalli, A., Davranov, K., Narimanov, A., Enakiev, Y., Syed, A., Elgorban, A. M., Bahkali, A. H., Wirth, S., Sayyed, R. Z., & Gafur, A. (2021). Co-inoculation of rhizobacteria promotes growth, yield, and nutrient contents in soybean and improves soil enzymes and nutrients under drought conditions. *Scientific Reports*, 11(1), 22081. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01337-9>

13. James, B. (2013). The Development and Regulation of Soybean Nodules. B J. Board (Ред.), *A Comprehensive Survey of International Soybean*

*Research—Genetics, Physiology, Agronomy and Nitrogen Relationships*. InTech. <https://doi.org/10.5772/52573>

14. Jiang X., Li H., Dai X., Li J., Liu Y. (2025). An Empirical Analysis of Global Soybean Supply Potential and China's Diversified Import Strategies Based on Global Agro-Ecological Zones and Multi-Objective Nonlinear Programming Models. *Agriculture*. Vol. 15(5). P. 529. <https://doi.org/10.3390/agriculture15050529>

15. Miladinovic J., Burton J. W., Tubic S. B., Miladinovic D., Djordjevic V., Djukic V. (2011). Soybean breeding: Comparison of the efficiency of different selection methods. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. Vol. 35(5). P. 469–480. <https://doi.org/10.3906/tar-1011-1474>

16. Mirriam, A., Mugwe, J., Nasar, J., Kisaka, O., Ranjan, S., & Gitari, H. (2023). Role of Phosphorus and Inoculation with Bradyrhizobium in Enhancing Soybean Production. *Advances in Agriculture*, 2023, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2023/3231623>

17. Molla H. S., Ayele Z. A., Zeleke M. A. (2024). Trends, Opportunities, and Challenges of the Ethiopian Soybean Export Market in the Past Two Decades (2004–2022). *Advances in Agriculture*. Vol. 1. 9979892. <https://doi.org/10.1155/2024/9979892>

18. Panasiewicz, K., Faligowska, A., Szymańska, G., Ratajczak, K., & Sulewska, H. (2023). Optimizing the Amount of Nitrogen and Seed Inoculation to Improve the Quality and Yield of Soybean Grown in the Southeastern Baltic Region. *Agriculture*, 13(4), 798. <https://doi.org/10.3390/agriculture13040798>

19. Subramanian P., Kim K., Krishnamoorthy R., Sundaram S., Sa T. (2015). Endophytic bacteria improve nodule function and plant nitrogen in soybean on co-inoculation with Bradyrhizobium japonicum MN110. *Plant Growth Regulation*. Vol. 76(3). P. 327–332. <https://doi.org/10.1007/s10725-014-9993-x>

20. Teixeira F. G., Hamawaki O. T., Nogueira A. P. O., Hamawaki R. L., Jorge G. L., Hamawaki C. L., Machado B. Q. V., Santana A. J. O. (2017). Research Article Genetic parameters and selection of soybean lines based on selection

indexes. *Genetics and Molecular Research*. Vol. 16(3).  
<https://doi.org/10.4238/gmr16039750>

21. Tian Z., Wang X., Lee R., Li Y., Specht J. E., Nelson R. L., McClean P. E., Qiu L., Ma J. (2010). Artificial selection for determinate growth habit in soybean. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. Vol. 107(19). P. 8563–8568. <https://doi.org/10.1073/pnas.1000088107>

22. Torún, B., Viteri, F. E., & Young, V. R. (1981). Nutritional role of soya protein for humans. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 58(3Part2), 400. <https://doi.org/10.1007/BF02582389>

23. Vyshnivskyi, P. S., & Furman, O. V. (2020). Продуктивність сої залежно від елементів технології вирощування в умовах Правобережного Лісостепу України. *Plant and Soil Science*, 11(1), 13–22. <https://doi.org/10.31548/agr2020.01.013>

24. Zabarna T. & Cheresnyuk V. Agro-ecological aspects of soybean (*Glycine max* L.) cultivation in Ukraine. *Agroecological journal*. 2024. Vol. 1. P. 108–116. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2024.299945>

## РОЗДІЛ 5

### ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ БІОПРЕПАРАТІВ ТА СТИМУЛЯТОРІВ РОСТУ ПРИ ВИРОЩУВАННІ СОЇ

Кінцевою метою будь-якого агровиробництва є максимізація прибутку, що зумовлює необхідність ґрунтового економічного підтвердження доцільності впровадження нових технологічних рішень (Goldsmith, 2008; Костецький, 2012).

Модернізовані схеми вирощування зернобобових культур повинні не лише гарантувати приріст урожайності та покращення біохімічних параметрів насіння, а й забезпечувати вищу енергетичну та фінансову ефективність порівняно з традиційними методами (Bandara et al., 2020). Результати проведеного аналізу свідчать, що варіативність показників рентабельності та собівартості продукції безпосередньо корелює з обраними методами передпосівної бактеризації та алгоритмами позакореневої стимуляції посівів (Саблук та ін., 2008; Montaña Korobko, 2021; Hamza et al., 2024).

Особливого значення набуває біологізація живлення, де використання інокулянтів виступає як найменш витратне та найбільш високоефективне джерело азотозабезпечення. Висока окупність витрат на біопрепарати, яка за науковими даними може досягати значних показників, підкреслює їхню стратегічну роль у підвищенні конкурентоспроможності галузі. Економічне оцінювання досліджуваних чинників проводилося за класичними методиками з розрахунком собівартості, рівня прибутковості та рентабельності на основі актуальних технологічних карт (Бойко та ін., 2008; Мазур та ін., 2021; Pansyreva & Mazur, 2022).

Аналіз середніх економічних показників за 2023–2025 рр. свідчить, що впровадження біологізованих елементів технології суттєво покращує фінансові результати вирощування сої сорту Сіверка (таблиця 5.1).

Встановлено, що найнижчу ефективність демонструє абсолютний контроль (без обробки препаратами), де рівень рентабельності становить лише 52,7%, а прибуток є мінімальним у досліді – 12117,7 грн./га. Використання препарату Гуміфілд ВР-18 для передпосівної обробки насіння (група А2) дозволяє підвищити прибутковість до 13561,8–14095,7 грн./га та стабілізувати рентабельність на рівні 59,0–60,0%. Попри певне зростання виробничих витрат через вартість стимуляторів, цей захід забезпечує зниження собівартості зерна порівняно з контролем у середньому на 35–40 грн./ц.

Визначальним фактором економічного успіху виявилася передпосівна інокуляція насіння Ризогуміном (група А1). Саме в цій групі зафіксовано найвищі показники чистого прибутку, які варіюють від 14677,7 до 15897,0 грн./га. Максимальну економічну ефективність у досліді забезпечує варіант А1В4 (Ризогумін + дворазове підживлення), де рівень рентабельності сягає 68,0%, а собівартість центнера продукції є найнижчою – 801,3 грн. Це підтверджує наукову гіпотезу про те, що витрати на інокуляцію та позакореневу стимуляцію окупаються значним приростом урожайності, що робить дану схему живлення найбільш раціональною з погляду ресурсощадності та фінансової віддачі в умовах Північно-Східного Лісостепу.

Таблиця 5.1

Економічна ефективність вирощування сої сорту Сіверка залежно від технологічних прийомів (середнє за 2023–2025 рр.)

Обробка насіння (фактор А)	Обробка рослин по вегетації (фактор В)	Урожайність, т/га	Виробничі витрати, грн./га	Вартість продукції, грн./га	Прибуток, грн./га	Собівартість, грн./ц	Рівень рентабельності, %
Контроль	без обробки препаратами	2,43	21449,6	33567,3	12117,7	882,7	52,7
	у фазу бутонізації	2,48	21760,3	34248	12487,7	877,7	53,7

Продовження таблиці 5.1

	у фазу наливу зерна	2,5	21808,4	34512,7	12704,3	868,7	55
	у фазу бутонізації + наливу	2,52	22050,6	34819,7	12769,1	874	54,3
Ризогумін	без обробки препаратами	2,65	21757,1	36434,7	14677,7	818,7	64,3
	у фазу бутонізації	2,72	22067,8	37434	15366,2	807	67
	у фазу наливу зерна	2,7	22116	37056,7	14940,7	816	65,3
	у фазу бутонізації + наливу	2,79	22371,5	38268,3	15897	801,3	68
Гуміфілд ВР-18	без обробки препаратами	2,57	21819,2	35381	13561,8	847	59
	у фазу бутонізації	2,61	22130,2	35903	13772,8	845,7	59
	у фазу наливу зерна	2,62	22178,1	36052,3	13874,2	842,3	60
	у фазу бутонізації + наливу	2,66	22433,6	36529,3	14095,7	842	60

Економічна оцінка досліджуваних заходів підтвердила високу фінансову доцільність біологізації технології вирощування сої сорту Сіверка. Найвищу ефективність забезпечило поєднання інокуляції Ризогуміном із дворазовим позакореневим підживленням (варіант А1В4), що дозволило

отримати максимальний умовно чистий прибуток у розмірі 15897,0 грн./га при рівні рентабельності 68,0%. Застосування біопрепаратів сприяло зниженню собівартості центнера продукції до 801,3 грн., що доводить перевагу інтенсивних схем стимуляції над контрольними варіантами та підкреслює високу окупність інвестицій у мікробні препарати й гумати в умовах Північно-Східного Лісостепу.

### **Висновки до розділу 5**

Підсумовуючи результати економічної оцінки, можна констатувати, що впровадження системи біологізації живлення є фінансово виправданим та високоефективним рішенням для агровиробництва. Встановлено, що перехід від базової технології до комплексного використання біопрепаратів дозволяє не лише стабілізувати врожайність, а й суттєво підвищити конкурентоспроможність продукції за рахунок зниження собівартості зерна. Найвищі показники економічної стабільності демонструє варіант із передпосівною інокуляцією Ризогуміном у синергії з дворазовим позакореневим підживленням, який за трирічний період забезпечив максимальний прибуток (15897,0 грн./га) та найвищий рівень рентабельності (68%). Таким чином, поєднання мікробних препаратів із гуміновими стимуляторами є економічно пріоритетним напрямом інтенсифікації вирощування сої в умовах Північно-Східного Лісостепу.

### **Використані джерела**

1. Костецький, Я. І. (2012). Статистичний аналіз витрат виробництва і собівартості продукції в аграрному секторі. *Наукові праці Полтавської державної аграрної академії. Серія: Економічні науки*, 5(2), 145–150.
2. Бойко, В. І., Лебідь, Є. М., Рибка, В. С. та ін. (2008). *Економіка виробництва зерна (з основами організації і технології виробництва): монографія* (В. І. Бойко, ред.). ННЦ ІАЕ.

3. Саблук, П. Т., Мазоренко, Д. І., & Мазнєв, Г. Є. (ред.). (2008). *Технології вирощування зернових і технічних культур в умовах Лісостепу України (2-ге вид.)*. ННЦ ІАЕ.
4. Мазур, В. А., Ткачук, О. П., Панцирева, Г. В., Капчук, І. М. (2021). Соя в інтенсивному землеробстві. *Вінниця: «Нілан-ЛТД»*. 220 с.
5. Goldsmith, P. D. (2008). Economics of Soybean Production, Marketing, and Utilization. *Soybeans. Elsevier*. P. 117–150. <https://doi.org/10.1016/B978-1-893997-64-6.50008-1>
6. Korobko, A. (2021). Dynamics of soybean production in Ukraine and the world. *Balanced nature using*. Vol. 4. P. 125–134. <https://doi.org/10.33730/2310-4678.4.2021.253098>
7. Montanía, C. V., Fernández-Núñez, T., Márquez, M. A. (2021). The role of the leading exporters in the global soybean trade. *Agricultural Economics (Zemědělská ekonomika)*. Vol. 67(7). P. 277–285. <https://doi.org/10.17221/433/2020-AGRICECON>.
8. Bandara, A. Y., Weerasooriya, D. K., Bradley, C. A., Allen, T. W., Esker P. D. (2020). Dissecting the economic impact of soybean diseases in the United States over two decades. *PLOS ONE*. Vol. 15(4). e0231141. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231141>
9. Hamza. M., Basit, A. W., Shehzadi, I., Tufail, U., Hassan, A., Hussain, T., Siddique, M. U., Hayat, H. M. (2024). Global Impact of Soybean Production: A Review. *Asian Journal of Biochemistry, Genetics and Molecular Biology*. Vol. 16(2). P. 12–20. <https://doi.org/10.9734/ajbgmb/2024/v16i2357>
10. Pantsyрева, H., Mazur, K. (2022). Research of early rating soybean varieties on technology and agroecological resistance. *Publishing House “Baltija Publishing”*. P. 84–108. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-195-4>

## ВИСНОВКИ

У дисертаційному дослідженні було вивчено та детально описано науковий підхід щодо вирішення завдань, які пов'язані зі збільшенням продуктивності такої культури як соя, що вирощувалась за біоадаптивною технологією.

Основна увага була приділена тому, щоб встановити найкращі способи агротехніки, зокрема вплив мікробних препаратів та стимуляторів росту на фоні різних рівнів мінерального живлення. Варто згадати, що також було висвітлено вибір оптимальної схеми інокуляції та позакореневого підживлення сої для умов Північно-східного Лісостепу України, результатом чого є викладення наступних висновків:

1. Було встановлено, що впровадження біоадаптивної технології, яка базується на синергії симбіотичної азотфіксації та стимуляції фізіологічних процесів, забезпечує стабільну продуктивність сої. Найвищі показники врожайності фіксувалися за комплексного застосування передпосівної інокуляції та дворазового позакореневого підживлення.
2. Доведено, що передпосівна обробка насіння інокулянтном (зокрема препаратом Ризогумін) є базовим елементом технології. Це сприяло збільшенню кількості активних бульбочок на коренях у 1,5–1,8 раза порівняно з природним фоном, що дозволило рослинам ефективніше засвоювати біологічний азот.
3. Встановлено, що біоадаптивний підхід позитивно впливає на формування асиміляційного апарату. Площа листової поверхні у варіантах із застосуванням гумінових стимуляторів та мікродобрив у фази бутонізації та початку наливу бобів перевищувала контроль на 15–20%, що забезпечило вищу інтенсивність фотосинтезу.
4. На основі проведених досліджень виявлено, що біопрепарати виступають ефективними антистресовими агентами. В умовах

- гідротермічного стресу, характерного для Північно-східного Лісостепу, рослини на біоадаптивному фоні мали на 4–5% вищий показник виживання та краще зберігали репродуктивні органи.
5. Дослідження показали, що застосування оптимізованої технології дозволило отримати врожайність сої на рівні 3,2–3,5 т/га. Приріст врожаю за рахунок біологізації живлення склав 0,5–0,8 т/га порівняно з традиційною технологією без інокуляції.
  6. Було встановлено суттєвий вплив елементів технології на якісні показники зерна. Вміст сирого протеїну в зерні зріс на 2,4–3,8%, а вміст олії стабілізувався на рівні 21–22%. Маса 1000 насінин досягла максимуму (175–185 г) у варіантах із повним комплексом біостимуляції.
  7. Продуктивність сої активно реагувала на мінеральний фон. Встановлено, що найбільш раціональним є поєднання помірних доз мінеральних добрив із біопрепаратами, оскільки надмірні дози азоту пригнічували діяльність бульбочкових бактерій.
  8. За результатами досліджень максимальна озерненість рослин та кількість бобів на одній рослині спостерігалася у варіантах, де позакореневе підживлення проводилося у фазу початку наливу насіння, що забезпечило безперебійне постачання поживних речовин до місць їх споживання.
  9. У дослідженні параметрів вегетативної маси встановлено, що біоадаптивна технологія сприяє зміцненню стебла, що знижує індекс вилягання рослин до мінімальних значень і забезпечує придатність посівів до прямого комбайнування.
  10. Вплив інокуляції на морфологічні показники проявився у кращому розвитку кореневої системи, що дозволило рослинам сої ефективніше використовувати вологу з нижніх горизонтів ґрунту під час літніх засух.
  11. Використання різних фонів удобрень значно впливає на сукупні витрати. Хоча вартість біопрепаратів підвищує загальні витрати,

високий приріст врожаю та покращення його якості повністю компенсують ці затрати.

12. Найвищий чистий дохід було досягнуто у варіанті з повною біоадаптивною схемою (передпосівна інокуляція + дворазове підживлення), який склав 15897 грн./га у середньому за роки досліджень.
13. Найвищий рівень рентабельності спостерігався на варіантах із використанням мікробних препаратів і гумінових стимуляторів, досягаючи 68%, що підтверджує високу економічну ефективність розробленої технології.
14. Окремі види мікродобрив, що застосовувалися у критичні фази розвитку, показали високу окупність, оскільки навіть у невеликих дозах вони суттєво активізували обмінні процеси в рослині.
15. При порівнянні ефективності вирощування сої за різними схемами встановлено, що біоадаптивна технологія є найбільш конкурентоспроможною для умов Північно-східного Лісостепу України. Вона дозволяє поєднати високу продуктивність із принципами екологізації землеробства та стабілізацією прибутку в умовах кліматичної нестабільності.

## РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

Задля підвищення врожайності культури, покращення якості зерна та сприяння економічному розвитку підприємства в умовах Північно-східного Лісостепу України на чорноземах вилугуваних було рекомендовано:

1. Впроваджувати біоадаптивну технологію вирощування сої, яка базується на максимальному використанні потенціалу симбіотичної азотфіксації та застосуванні антистресових препаратів.
2. Проводити обов'язкову передпосівну інокуляцію насіння сучасними штамами бульбочкових бактерій (зокрема препаратом Ризогумін 2 кг/т), що забезпечує формування потужного симбіотичного апарату та стабільне азотне живлення рослин.
3. Застосовувати систему позакореневого підживлення гуміновими стимуляторами та мікродобривами у критичні фази розвитку: перший раз Гуміфілд ВР-18 у фазу бутонізації, другий – Фульвігрін Бор (фаза наливу бобів). Це дозволяє підвищити площу листової поверхні на 15–20% та нівелювати вплив гідротермічного стресу.
4. Обирати оптимальні схеми живлення для досягнення максимального економічного ефекту: використовувати передпосівну інокуляцію (Ризогумін 2 кг/т) у синергії з дворазовим позакореневим підживленням (Гуміфілд ВР-18 (бутонізація) + Фульвігрін Бор (налив бобів)), що забезпечує отримання прибутку на рівні 15897 грн./га та рентабельність виробництва 68%.
5. Дотримуватися збалансованого мінерального фону, уникаючи надмірних доз стартового азоту, які можуть пригнічувати природну здатність сої до фіксації атмосферного азоту, що дозволить знизити собівартість продукції та покращити екологічний стан агроєкосистеми.

# ДОДАТКИ

**Результати дисперсійного аналізу та попарного порівняння середніх значень кількості бульбочок**

НЗР крит.: похибка Фаза бутонізації (кількість бульбочок у даних 2023–2025 рр.) Ймовірності для апостеріорних критеріїв Помилка: Міжгруповий MS = 14,694, сс = 24,000													
N	Код варіанта	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}	{12}
1	A0B1	10,133	12,267	10,433	12,000	23,467	26,400	24,300	27,100	17,900	22,067	17,733	21,600
2	A0B2	0,502015	0,502015	0,924435	0,556490	0,000273	0,000025	0,000139	0,000014	0,020481	0,000845	0,023038	0,001227
3	A0B3	0,924435	0,563510		0,621245	0,000348	0,000032	0,000177	0,000018	0,025293	0,001074	0,028397	0,001558
4	A0B4	0,556490	0,932809	0,621245		0,001227	0,000115	0,000629	0,000065	0,071586	0,003692	0,079420	0,005287
5	A1B1	0,000273	0,001517	0,000348	0,001227		0,357989		0,792320	0,257117	0,087984	0,658668	0,556490
6	A1B2	0,000025	0,000142	0,000032	0,000115	0,357989		0,508657	0,824922	0,012062	0,178942	0,010669	0,138204
7	A1B3	0,000139	0,000779	0,000177	0,000629	0,792320	0,508657		0,379883	0,051990	0,482385	0,046608	0,396866
8	A1B4	0,000014	0,000081	0,000018	0,000065	0,257117	0,824922	0,379883		0,007163	0,120878	0,006315	0,091625
9	A2B1	0,020481	0,084468	0,025293	0,071586	0,087984	0,012062	0,051990	0,007163		0,195613	0,957973	0,248724
10	A2B2	0,000845	0,004535	0,001074	0,003692	0,658668	0,178942	0,482385	0,120878	0,195613		0,178942	0,882720
11	A2B3	0,023038	0,093493	0,028397	0,079420	0,079420	0,010669	0,046608	0,006315	0,957973	0,178942		0,228636
12	A2B4	0,001227	0,006476	0,001558	0,005287	0,556490	0,138204	0,396866	0,091625	0,248724	0,882720	0,228636	

НЗР крит.: похибка Фаза цвітіння (кількість бульбочок у даних 2023–2025 рр.) Ймовірності для апостеріорних критеріїв Помилка: Міжгруповий MS = 34,382, сс = 24,000													
N	Код варіанта	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}	{12}
1	A0B1	17,300	20,467	18,067	20,100	32,033	37,100	33,133	37,433	25,800	28,200	26,333	28,267
2	A0B2	0,514638	0,514638	0,874115	0,564112	0,005160	0,000374	0,002960	0,000313	0,088514	0,032010	0,071341	0,031069
3	A0B3	0,874115	0,620732		0,674834	0,007548	0,000561	0,004365	0,000470	0,119322	0,044857	0,097078	0,043579
4	A0B4	0,564112	0,939587	0,674834		0,019983	0,001624	0,011882	0,001366	0,245465	0,103617	0,205285	0,100958
5	A1B1	0,005160	0,023667	0,007548	0,019983		0,300461	0,820226	0,270508	0,205285	0,431174	0,245465	0,439128
6	A1B2	0,000374	0,001963	0,000561	0,001624	0,300461		0,415537	0,945070	0,026730	0,075338	0,033971	0,077408
7	A1B3	0,002960	0,014158	0,004365	0,011882	0,820226	0,415537		0,378028	0,138666	0,313079	0,168373	0,319525
8	A1B4	0,000313	0,001653	0,000470	0,001366	0,270508	0,945070	0,378028		0,022954	0,065692	0,029261	0,067530
9	A2B1	0,088514	0,276318	0,119322	0,245465	0,205285	0,026730	0,138666	0,022954		0,620732	0,912227	0,611114
10	A2B2	0,032010	0,119322	0,044857	0,103617	0,431174	0,075338	0,313079	0,065692	0,620732		0,700053	0,989005
11	A2B3	0,071341	0,232321	0,097078	0,205285	0,245465	0,033971	0,168373	0,029261	0,912227	0,700053		0,689921
12	A2B4	0,031069	0,116327	0,043579	0,100958	0,439128	0,077408	0,319525	0,067530	0,611114	0,989005	0,689921	

НЗР крит.: похибка Фаза наливу бобів (кількість бульбочок у даних 2023–2025 рр.) Ймовірності для апостеріорних критеріїв Помилка: Міжгруповий MS = 72,353, сс = 24,000													
N ячійки	Код варіанта	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}	{12}
1	A0B1	19,267	21,467	19,667	20,700	34,633	36,367	33,133	36,833	28,900	31,267	29,400	31,633
2	A0B2	0,754160	0,754160	0,797712	0,913019	0,070091	0,042250	0,105965	0,036690	0,295137	0,171062	0,264607	0,156212
3	A0B3	0,954549	0,797712		0,882967	0,041412	0,024267	0,064347	0,020927	0,196196	0,107868	0,173879	0,097748
4	A0B4	0,838236	0,913019	0,882967		0,056232	0,033475	0,086045	0,028980	0,249301	0,141217	0,222396	0,128525
5	A1B1	0,036690	0,070091	0,041412	0,056232		0,805041	0,830831	0,754160	0,417211	0,632250	0,458467	0,669631
6	A1B2	0,021377	0,042250	0,024267	0,033475	0,805041		0,645734	0,946985	0,293026	0,469867	0,325823	0,502062
7	A1B3	0,057333	0,105965	0,064347	0,086045	0,830831	0,645734		0,599110	0,547897	0,790403	0,595842	0,830831
8	A1B4	0,018409	0,036690	0,020927	0,028980	0,754160	0,946985	0,599110		0,264607	0,430698	0,295137	0,461301
9	A2B1	0,178174	0,295137	0,196196	0,249301	0,417211	0,293026	0,547897	0,264607		0,736246	0,943205	0,697382
10	A2B2	0,096870	0,171062	0,107868	0,141217	0,632250	0,469867	0,790403	0,430698	0,736246		0,790403	0,958333
11	A2B3	0,157518	0,264607	0,173879	0,222396	0,458467	0,325823	0,595842	0,295137	0,943205	0,790403		0,750566
12	A2B4	0,087640	0,156212	0,097748	0,128525	0,669631	0,502062	0,830831	0,461301	0,697382	0,958333	0,750566	

**Результати дисперсійного аналізу та попарного порівняння середніх значень маси бульбочок**

НЗР крит.: похибка Фаза бутонізації (дані 2023–2025 рр.) Ймовірності для апостеріорних критеріїв Помилка: Міжгруповий MS = 0,00099, сс = 24,000													
N	Код варіанта	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}	{12}
1	A0B1	,06567	0,430163	0,938744	0,645457	0,000162	0,000008	0,000064	0,000005	0,014759	0,002736	0,016592	0,001751
2	A0B2	0,430163		0,475582	0,739407	0,001229	0,000062	0,000494	0,000041	0,080482	0,018104	0,088892	0,012000
3	A0B3	0,938744	0,475582		0,701227	0,000197	0,000010	0,000078	0,000007	0,017586	0,003307	0,019743	0,002122
4	A0B4	0,645457	0,739407	0,701227		0,000528	0,000027	0,000211	0,000017	0,040854	0,008368	0,045501	0,005450
5	A1B1	0,000162	0,001229	0,000197	0,000528		0,250423	0,720224	0,190861	0,078490	0,271287	0,070942	0,354161
6	A1B2	0,000008	0,000062	0,000010	0,000027	0,250423		0,422861	0,867791	0,005978	0,030200	0,005284	0,044297
7	A1B3	0,000064	0,000494	0,000078	0,000211	0,720224	0,422861		0,335096	0,037654	0,149660	0,033740	0,203520
8	A1B4	0,000005	0,000041	0,000007	0,000017	0,190861	0,867791	0,335096		0,003993	0,020911	0,003522	0,031051
9	A2B1	0,014759	0,080482	0,017586	0,040854	0,078490	0,005978	0,037654	0,003993		0,483415	0,959139	0,380693
10	A2B2	0,002736	0,018104	0,003307	0,008368	0,271287	0,030200	0,149660	0,020911	0,483415		0,452530	0,857732
11	A2B3	0,016592	0,088892	0,019743	0,045501	0,070942	0,005284	0,033740	0,003522	0,959139	0,452530		0,354161
12	A2B4	0,001751	0,012000	0,002122	0,005450	0,354161	0,044297	0,203520	0,031051	0,380693	0,857732	0,354161	

НЗР крит.: похибка Фаза цвітіння (дані 2023–2025 рр.) Ймовірності для апостеріорних критеріїв Помилка: Міжгруповий MS = 0,01441, сс = 24,000													
N	Код варіанта	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}	{12}
1	A0B1	,16700	,19533	,17200	,19233	,32567	,35933	,33667	,38533	25300	27533	25733	27933
1	A0B1		0,775007	0,959737	0,798250	0,118555	0,061422	0,096282	0,035543	0,388954	0,279993	0,365890	0,263055
2	A0B2	0,775007		0,813854	0,975835	0,196104	0,107268	0,162233	0,064410	0,561793	0,422407	0,533000	0,399910
3	A0B3	0,959737	0,813854		0,837406	0,130018	0,067981	0,105923	0,039581	0,416710	0,302257	0,392584	0,284349
4	A0B4	0,798250	0,975835	0,837406		0,186360	0,101327	0,153858	0,060591	0,541774	0,405461	0,513541	0,383550
5	A1B1	0,118555	0,196104	0,130018	0,186360		0,734222	0,911575	0,548405	0,465649	0,612274	0,492389	0,640682
6	A1B2	0,061422	0,107268	0,067981	0,101327	0,734222		0,819073	0,793068	0,288753	0,399910	0,308400	0,422407
7	A1B3	0,096282	0,162233	0,105923	0,153858	0,911575	0,819073		0,624039	0,401755	0,537377	0,426232	0,564040
8	A1B4	0,035543	0,064410	0,039581	0,060591	0,548405	0,793068	0,624039		0,189565	0,272842	0,203953	0,290231
9	A2B1	0,388954	0,561793	0,416710	0,541774	0,465649	0,288753	0,401755	0,189565		0,821686	0,965102	0,790480
10	A2B2	0,279993	0,422407	0,302257	0,405461	0,612274	0,399910	0,537377	0,272842	0,821686		0,855833	0,967785
11	A2B3	0,365890	0,533000	0,392584	0,513541	0,492389	0,308400	0,426232	0,203953	0,965102	0,855833		0,824301
12	A2B4	0,263055	0,399910	0,284349	0,383550	0,640682	0,422407	0,564040	0,290231	0,790480	0,967785	0,824301	

НЗР крит.: похибка Фаза наливу бобів (дані 2023–2025 рр.) Ймовірності для апостеріорних критеріїв Помилка: Міжгруповий MS = 0,02481, сс = 24,000													
N	Код варіанта	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}	{12}
1	A0B1	,12967	,14967	,13533	,38867	,25200	,27600	,25567	,29467	,19133	,22000	,20467	,23200
1	A0B1		0,877719	0,965220	0,055365	0,350979	0,266426	0,336997	0,211755	0,635929	0,489192	0,565221	0,434007
2	A0B2	0,877719		0,912187	0,075426	0,434007	0,335745	0,417937	0,270696	0,748758	0,589510	0,672715	0,528116
3	A0B3	0,965220	0,912187		0,060506	0,373347	0,284916	0,358769	0,227361	0,667140	0,516592	0,594780	0,459577
4	A0B4	0,055365	0,075426	0,060506		0,298512	0,389689	0,311375	0,471914	0,138015	0,202105	0,165408	0,234999
5	A1B1	0,350979	0,434007	0,373347	0,298512		0,853532	0,977491	0,742952	0,641389	0,805619	0,716067	0,877719
6	A1B2	0,266426	0,335745	0,284916	0,389689	0,853532		0,875698	0,885809	0,516592	0,667140	0,584262	0,735235
7	A1B3	0,336997	0,417937	0,358769	0,311375	0,977491	0,875698		0,764315	0,621471	0,783903	0,695201	0,855542
8	A1B4	0,211755	0,270696	0,227361	0,471914	0,742952	0,885809	0,764315		0,429587	0,566939	0,490780	0,630489
9	A2B1	0,635929	0,748758	0,667140	0,138015	0,641389	0,516592	0,621471	0,429587		0,825500	0,918289	0,754580
10	A2B2	0,489192	0,589510	0,516592	0,202105	0,805619	0,667140	0,783903	0,566939	0,825500		0,906089	0,926434
11	A2B3	0,565221	0,672715	0,594780	0,165408	0,716067	0,584262	0,695201	0,490780	0,918289	0,906089		0,833487
12	A2B4	0,434007	0,528116	0,459577	0,234999	0,877719	0,735235	0,855542	0,630489	0,754580	0,926434	0,833487	

Результати дисперсійного аналізу та попарного порівняння середніх значень схожості культури за впливу досліджуваних факторів

Крит. НРР; змінні: Повні сходи, к-сть рослин тис./га (Таблиця даних 1) Позначені різниці, значущі на рівні $p < ,05000$												
Код варіанта	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}	{12}
	M=784,50	M=786,50	M=784,50	M=786,00	M=795,50	M=794,50	M=793,50	M=794,00	M=788,00	M=787,00	M=790,00	M=785,00
A0B1 {1}		0,370662	1,000000	0,500367	0,000040	0,000127	0,000403	0,000226	0,123440	0,265361	0,019266	0,821512
A0B2 {2}	0,370662		0,370662	0,821512	0,000403	0,001271	0,003904	0,002237	0,500367	0,821512	0,123440	0,500367
A0B3 {3}	1,000000	0,370662		0,500367	0,000040	0,000127	0,000403	0,000226	0,123440	0,265361	0,019266	0,821512
A0B4 {4}	0,500367	0,821512	0,500367		0,000226	0,000718	0,002237	0,001271	0,370662	0,652368	0,080522	0,652368
A1B1 {5}	0,000040	0,000403	0,000040	0,000226		0,652368	0,370662	0,500367	0,002237	0,000718	0,019266	0,000071
A1B2 {6}	0,000127	0,001271	0,000127	0,000718	0,652368		0,652368	0,821512	0,006741	0,002237	0,051151	0,000226
A1B3 {7}	0,000403	0,003904	0,000403	0,002237	0,370662	0,652368		0,821512	0,019266	0,006741	0,123440	0,000718
A1B4 {8}	0,000226	0,002237	0,000226	0,001271	0,500367	0,821512	0,821512		0,011486	0,003904	0,080522	0,000403
A2B1 {9}	0,123440	0,500367	0,123440	0,370662	0,002237	0,006741	0,019266	0,011486		0,652368	0,370662	0,183826
A2B2 {10}	0,265361	0,821512	0,265361	0,652368	0,000718	0,002237	0,006741	0,003904	0,652368		0,183826	0,370662
A2B3 {11}	0,019266	0,123440	0,019266	0,080522	0,019266	0,051151	0,123440	0,080522	0,370662	0,183826		0,031727
A2B4 {12}	0,821512	0,500367	0,821512	0,652368	0,000071	0,000226	0,000718	0,000403	0,183826	0,370662	0,031727	

Результати математично-статистичної обробки експериментальних даних із  
кількості бобів та насінин на рослині

Крит. НРР; змінні: Кількість бобів на рослині, шт. (Таблиця даних 1) Позначені різниці, значущі на рівні $p < ,05000$												
Код варіанта	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}	{12}
	M=12,033	M=13,300	M=13,000	M=13,067	M=15,233	M=16,300	M=15,733	M=16,567	M=14,500	M=15,033	M=14,300	M=14,867
A0B1 {1}		0,586783	0,677907	0,657152	0,176751	0,075815	0,120636	0,060276	0,294013	0,204333	0,334041	0,229768
A0B2 {2}	0,586783		0,897274	0,920009	0,408718	0,204333	0,300436	0,168242	0,606509	0,458250	0,667496	0,502142
A0B3 {3}	0,677907	0,897274		0,977108	0,341060	0,164111	0,246140	0,133926	0,520342	0,385272	0,577039	0,424841
A0B4 {4}	0,657152	0,920009	0,977108		0,355399	0,172455	0,257528	0,141009	0,538897	0,400804	0,596606	0,441353
A1B1 {5}	0,176751	0,408718	0,341060	0,355399		0,646878	0,829682	0,567378	0,752522	0,931404	0,688384	0,874628
A1B2 {6}	0,075815	0,204333	0,164111	0,172455	0,646878		0,807420	0,908631	0,441353	0,586783	0,392989	0,538897
A1B3 {7}	0,120636	0,300436	0,246140	0,257528	0,829682	0,807420		0,720191	0,596606	0,763406	0,538897	0,709528
A1B4 {8}	0,060276	0,168242	0,133926	0,141009	0,567378	0,908631	0,720191		0,377654	0,511197	0,334041	0,466842
A2B1 {9}	0,294013	0,606509	0,520342	0,538897	0,752522	0,441353	0,596606	0,377654		0,818532	0,931404	0,874628
A2B2 {10}	0,204333	0,458250	0,385272	0,400804	0,931404	0,586783	0,763406	0,511197	0,818532		0,752522	0,942813
A2B3 {11}	0,334041	0,667496	0,577039	0,596606	0,688384	0,392989	0,538897	0,334041	0,931404	0,752522		0,807420
A2B4 {12}	0,229768	0,502142	0,424841	0,441353	0,874628	0,538897	0,709528	0,466842	0,874628	0,942813	0,807420	

Крит. НРР; змінні: Кількість насінин на рослині, шт. (Таблиця даних 1) Позначені різниці, значущі на рівні $p < ,05000$												
Код варіанта	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}	{12}
	M=21,000	M=23,400	M=23,533	M=25,067	M=28,200	M=30,633	M=30,167	M=32,367	M=26,433	M=27,500	M=27,300	M=28,500
A0B1 {1}		0,511774	0,488831	0,270276	0,057176	0,013298	0,017827	0,004290	0,144681	0,083847	0,093212	0,048256
A0B2 {2}	0,511774		0,970792	0,647898	0,195384	0,056118	0,072628	0,020178	0,408250	0,266469	0,289909	0,169852
A0B3 {3}	0,488831	0,970792		0,674272	0,207652	0,060459	0,078063	0,021901	0,428877	0,281936	0,306334	0,180852
A0B4 {4}	0,270276	0,647898	0,674272		0,393200	0,135502	0,169852	0,054053	0,707845	0,505983	0,541273	0,350227
A1B1 {5}	0,057176	0,195384	0,207652	0,393200		0,505983	0,590285	0,258972	0,628418	0,847619	0,804911	0,934345
A1B2 {6}	0,013298	0,056118	0,060459	0,135502	0,505983		0,898044	0,634882	0,255282	0,393200	0,364187	0,559397
A1B3 {7}	0,017827	0,072628	0,078063	0,169852	0,590285	0,898044		0,547280	0,310541	0,466490	0,434133	0,647898
A1B4 {8}	0,004290	0,020178	0,021901	0,054053	0,258972	0,634882	0,547280		0,112704	0,189465	0,172551	0,293955
A2B1 {9}	0,144681	0,408250	0,428877	0,707845	0,628418	0,255282	0,310541	0,112704		0,769782	0,811990	0,571652
A2B2 {10}	0,083847	0,266469	0,281936	0,505983	0,847619	0,393200	0,466490	0,189465	0,769782		0,956201	0,783778
A2B3 {11}	0,093212	0,289909	0,306334	0,541273	0,804911	0,364187	0,434133	0,172551	0,811990	0,956201		0,742033
A2B4 {12}	0,048256	0,169852	0,180852	0,350227	0,934345	0,559397	0,647898	0,293955	0,571652	0,783778	0,742033	

Результати математично-статистичної обробки експериментальних даних із  
маси зерна з рослини

Крит. НРР; змінні: Маса зерна з рослини, г (Таблиця даних 1) Позначені різниці, значущі на рівні $p < .05000$												
Код варіанта	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}	{12}
	M=3,6200	M=3,7933	M=3,8233	M=3,9167	M=4,1100	M=4,2067	M=4,1900	M=4,2867	M=3,9767	M=4,0400	M=4,0467	M=4,1100
A0B1 {1}		0,774530	0,736928	0,624516	0,420859	0,336601	0,350247	0,276206	0,556673	0,489445	0,482648	0,420859
A0B2 {2}	0,774530		0,960425	0,838423	0,601481	0,496297	0,513662	0,417750	0,761928	0,683799	0,675763	0,601481
A0B3 {3}	0,736928	0,960425		0,877342	0,636184	0,527792	0,545747	0,446254	0,799920	0,720423	0,712221	0,636184
A0B4 {4}	0,624516	0,838423	0,877342		0,749393	0,632284	0,651892	0,542131	0,920953	0,838423	0,829828	0,749393
A1B1 {5}	0,420859	0,601481	0,636184	0,749393		0,873000	0,894747	0,770322	0,825538	0,907837	0,916578	1,000000
A1B2 {6}	0,336601	0,496297	0,527792	0,632284	0,873000		0,978007	0,894747	0,704055	0,782967	0,791430	0,873000
A1B3 {7}	0,350247	0,513662	0,545747	0,651892	0,894747	0,978007		0,873000	0,724537	0,804175	0,812702	0,894747
A1B4 {8}	0,276206	0,417750	0,446254	0,542131	0,770322	0,894747	0,873000		0,609114	0,683799	0,691873	0,770322
A2B1 {9}	0,556673	0,761928	0,799920	0,920953	0,825538	0,704055	0,724537	0,609114		0,916578	0,907837	0,825538
A2B2 {10}	0,489445	0,683799	0,720423	0,838423	0,907837	0,782967	0,804175	0,683799	0,916578		0,991202	0,907837
A2B3 {11}	0,482648	0,675763	0,712221	0,829828	0,916578	0,791430	0,812702	0,691873	0,907837	0,991202		0,916578
A2B4 {12}	0,420859	0,601481	0,636184	0,749393	1,000000	0,873000	0,894747	0,770322	0,825538	0,907837	0,916578	

**Результати статистичної оцінки достовірності впливу досліджуваних  
чинників на масу 1000 зерен сої**

Крит. НРР; змінні: Маса 1000 зерен, г (Таблиця даних 1) Позначені різниці, значущі на рівні $p < .05000$												
Код варіанта	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}	{12}
	M=173,20	M=176,17	M=176,90	M=179,13	M=182,70	M=184,20	M=184,33	M=186,10	M=177,80	M=179,57	M=179,07	M=181,73
A0B1 {1}		0,940946	0,926388	0,882235	0,812580	0,783716	0,781165	0,747609	0,908558	0,873708	0,883548	0,831329
A0B2 {2}	0,940946		0,985389	0,940946	0,870433	0,841068	0,838468	0,804212	0,967465	0,932341	0,942270	0,889461
A0B3 {3}	0,926388	0,985389		0,955525	0,884862	0,855397	0,852788	0,818387	0,982069	0,946908	0,956851	0,903943
A0B4 {4}	0,882235	0,940946	0,955525		0,929033	0,899331	0,896697	0,861928	0,973438	0,991366	0,998672	0,948233
A1B1 {5}	0,812580	0,870433	0,884862	0,929033		0,970120	0,967465	0,932341	0,902625	0,937635	0,927710	0,980741
A1B2 {6}	0,783716	0,841068	0,855397	0,899331	0,970120		0,997343	0,962157	0,873053	0,907898	0,898014	0,950884
A1B3 {7}	0,781165	0,838468	0,852788	0,896697	0,967465	0,997343		0,964811	0,870433	0,905261	0,895381	0,948233
A1B4 {8}	0,747609	0,804212	0,818387	0,861928	0,932341	0,962157	0,964811		0,835870	0,870433	0,860621	0,913176
A2B1 {9}	0,908558	0,967465	0,982069	0,973438	0,902625	0,873053	0,870433	0,835870		0,964811	0,974766	0,921761
A2B2 {10}	0,873708	0,932341	0,946908	0,991366	0,937635	0,907898	0,905261	0,870433	0,964811		0,990038	0,956851
A2B3 {11}	0,883548	0,942270	0,956851	0,998672	0,927710	0,898014	0,895381	0,860621	0,974766	0,990038		0,946908
A2B4 {12}	0,831329	0,889461	0,903943	0,948233	0,980741	0,950884	0,948233	0,913176	0,921761	0,956851	0,946908	

Статистична оцінка показників якості насіння сої за критерієм найменшої істотної різниці

		Крит. НРР; змінні: Вміст сирого протеїну, % (Таблиця даних 1) Позначені різниці, значущі на рівні $p < ,05000$											
Код варіанта		{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}	{12}
		M=37,867	M=38,100	M=38,200	M=38,467	M=38,933	M=38,900	M=39,433	M=39,667	M=38,333	M=38,300	M=38,533	M=38,767
A0B1	{1}		0,319086	0,159036	0,015135	0,000101	0,000146	0,000000	0,000000	0,053050	0,070957	0,007732	0,000638
A0B2	{2}	0,319086		0,666697	0,122936	0,001322	0,001896	0,000005	0,000000	0,319086	0,391794	0,070957	0,007732
A0B3	{3}	0,159036	0,666697		0,256341	0,003862	0,005478	0,000016	0,000001	0,566391	0,666697	0,159036	0,020964
A0B4	{4}	0,015135	0,122936	0,256341		0,053050	0,070957	0,000306	0,000023	0,566391	0,474407	0,773777	0,203212
A1B1	{5}	0,000101	0,001322	0,003862	0,053050		0,885648	0,039275	0,003862	0,015135	0,010852	0,093920	0,474407
A1B2	{6}	0,000146	0,001896	0,005478	0,070957	0,885648		0,028815	0,002711	0,020964	0,015135	0,122936	0,566391
A1B3	{7}	0,000000	0,000005	0,000016	0,000306	0,039275	0,028815		0,319086	0,000070	0,000048	0,000638	0,007732
A1B4	{8}	0,000000	0,000000	0,000001	0,000023	0,003862	0,002711	0,319086		0,000005	0,000004	0,000048	0,000638
A2B1	{9}	0,053050	0,319086	0,566391	0,566391	0,015135	0,020964	0,000070	0,000005		0,885648	0,391794	0,070957
A2B2	{10}	0,070957	0,391794	0,666697	0,474407	0,010852	0,015135	0,000048	0,000004	0,885648		0,319086	0,566391
A2B3	{11}	0,007732	0,070957	0,159036	0,773777	0,093920	0,122936	0,000638	0,000048	0,391794	0,319086		0,319086
A2B4	{12}	0,000638	0,007732	0,020964	0,203212	0,474407	0,566391	0,007732	0,000638	0,070957	0,053050	0,319086	

		Крит. НРР; змінні: Вміст олії, % (Таблиця даних 1) Позначені різниці, значущі на рівні $p < ,05000$											
Код варіанта		{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}	{12}
		M=21,100	M=20,967	M=21,400	M=21,467	M=22,000	M=22,000	M=22,100	M=22,533	M=21,367	M=21,467	M=21,633	M=21,933
A0B1	{1}		0,762103	0,497481	0,408094	0,049708	0,049708	0,030686	0,003075	0,546050	0,408094	0,232557	0,067663
A0B2	{2}	0,762103		0,329613	0,262203	0,026002	0,026002	0,015613	0,001446	0,367466	0,262203	0,138862	0,036129
A0B3	{3}	0,497481	0,329613		0,879605	0,180966	0,180966	0,121027	0,015613	0,939619	0,879605	0,597010	0,232557
A0B4	{4}	0,408094	0,262203	0,879605		0,232557	0,232557	0,158794	0,021983	0,820318	1,000000	0,705287	0,294535
A1B1	{5}	0,049708	0,026002	0,180966	0,232557		1,000000	0,820318	0,232557	0,158794	0,232557	0,408094	0,879605
A1B2	{6}	0,049708	0,026002	0,180966	0,232557	1,000000		0,820318	0,232557	0,158794	0,232557	0,408094	0,879605
A1B3	{7}	0,030686	0,015613	0,121027	0,158794	0,820318	0,820318		0,329613	0,105141	0,158794	0,294535	0,705287
A1B4	{8}	0,003075	0,001446	0,015613	0,021983	0,232557	0,232557	0,329613		0,013119	0,021983	0,049708	0,180966
A2B1	{9}	0,546050	0,367466	0,939619	0,820318	0,158794	0,158794	0,105141	0,013119		0,820318	0,546050	0,205513
A2B2	{10}	0,408094	0,262203	0,879605	1,000000	0,232557	0,232557	0,158794	0,021983	0,820318		0,705287	0,294535
A2B3	{11}	0,232557	0,138862	0,597010	0,705287	0,408094	0,408094	0,294535	0,049708	0,546050	0,705287		0,497481
A2B4	{12}	0,067663	0,036129	0,232557	0,294535	0,879605	0,879605	0,705287	0,180966	0,205513	0,294535	0,497481	



**ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ  
ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ  
«НІЖИН АГРО»**

вулиця Урожайна 112, село Вертішка,  
Ніжинський район, Чернігівська область, Україна, 16624  
Тел./факс: (04631) 68-5-16  
office-ngo@agroprosperis.com

Код за ЄДРПОУ 35195139  
Ідентифікаційний податковий номер 351951325137  
АТ «АГРОПРОСПЕРІС БАНК»,  
МФО 380548  
IBAN UA20380548000026006004918901  
На № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_

від 13 березня 2026 року № 16/03

**АКТ**

**впровадження завершеної наукової розробки**

**«Розробка біоадаптивної технології вирощування сої в умовах Північно-Східного Лісостепу України»**

Цим актом підтверджується, що в 2025 р у ТОВ «НІЖИН АГРО» на дослідних полях була проведена апробація науково-технічної розробки під назвою «Розробка біоадаптивної технології вирощування сої в умовах Північно-східного Лісостепу України».

**Умови проведення впровадження:** Північно-східний Лісостеп, ґрунт – чорнозем вилугуваний, малогумусний, середньосуглинковий на лесі.

**Суть впровадження НТР:** Досліджено вплив комплексного застосування передпосівної інокуляції насіння (препарат Ризогумін) та системи позакореневих підживлень гуміновими стимуляторами (Гуміфілд ВР-18, Фульвігрін Бор) на продуктивність та прибутковість вирощування сої сорту Сіверка. Впровадження базувалося на синергії мікробіологічних препаратів та фізіологічно активних речовин для підвищення адаптивності культури до гідротермічного стресу.

**Результати впровадження:**

- Середня врожайність сої період досліджень становила 3,0-3,3 т/га.
- Найвищу врожайність (3,3 т/га) отримано за умови поєднання передпосівної інокуляції Ризогуміном та дворазового позакореневого підживлення у фази бутонізації та наливу бобів. Приріст врожайності порівняно з базовою технологією (контролем) склав 0,5–0,8 т/га.

- Собівартість 1 центнера продукції за використання біопрепаратів знизилася до 801,3 грн.

**Висновок:** На відміну від варіантів із високими дозами мінерального азоту, де витрати часто перевищували прибуток, впровадження біоадаптивної схеми (інокуляція + гумінові стимулятори) є найбільш фінансово виправданим та екологічно безпечним шляхом інтенсифікації вирощування сої в регіоні.

Генеральний директор



Іван КОБИЖЧА

Фермерське господарство «Зодіак-ВМ» Охтирський р-н, Сумська область

### АКТ

#### впровадження завершеної наукової розробки «Розробка біоадаптивної технології вирощування сої в умовах Північно-Східного Лісостепу України»

Даним актом підтверджуємо, що у 2024 році в господарстві ФГ «Зодіак-ВМ» Охтирського району, Сумської області на площі 47 га впроваджувалась науково-технічна розробка «Розробка біоадаптивної технології вирощування сої в умовах Північно-Східного Лісостепу України».

*Умови проведення впровадження:* Північно-східний Лісостеп, ґрунт – чорнозем типовий, рН – 6,2.

*Суть впровадження НТР:* досліджено вплив передпосівної інокуляції насіння та комплексних позакореневих підживлень на врожайність сої сорту Сіверка, а також на економічну ефективність її вирощування за умови різних схем біологізації живлення.

*Результати впровадження:* Врожайність сої сорту Сіверка склала 3,2 тонни на гектар при використанні схеми, що включала передпосівну інокуляцію препаратом Ризогумін та дворазове підживлення стимуляторами росту. Урожайність зросла на 0,48 т/га порівняно з контрольним варіантом. У той же час, при застосуванні лише мінерального фону живлення  $N_{30}P_{60}K_{60}$ , результати перевищили контроль на 0,25 т/га. За рахунок високої вартості мінеральних добрив та стимуляторів, що застосовувались, контрольна ділянка (без використання додаткових засобів) продемонструвала високий показник рентабельності, проте загальна маса отриманого прибутку була нижчою. Тим не менш, для підтримки родючості ґрунту та досягнення оптимального балансу між витратами і продуктивністю рекомендується використовувати схему з інокуляцією та одноразовим підживленням у фазу бутонізації, що виявилася найбільш прибутковою серед варіантів інтенсифікації, забезпечивши чистий прибуток на рівні 14200 грн./га.

Голова ФГ «Зодіак-ВМ»



Валентина МАХІТКА



