

The peculiarities of inoculation at soybean cultivation

I. Kobylynskyi ✉

Article info

Correspondence Author

I. Kobylynskyi

E-mail:

super.ivan9518338@gmail.comPoltava State Agrarian
University,
1/3, Skovorody str.,
Poltava, 36003,
Ukraine**Citation:** Kobylynskyi, I. (2024). The peculiarities of inoculation at soybean cultivation. *Scientific Progress & Innovations*, 27 (2), 22–26. doi: 10.31210/spi2024.27.02.04

Soybean is the most important crop in the world, the demand for which is constantly growing, which stipulates the necessity of increasing its quality and yield capacity. It is known that additional inoculation stipulating the treatment with bacterial preparations containing *Bradyrhizobium japonicum* nitrogen-fixing bacteria is the necessary element of soybean cultivation. The purpose of the article is to study the peculiarities of the existing methods of soybean inoculation. The higher is soybean yield capacity, the more nitrogen is necessary, which is covered by 50–60 % with the biological fixation owing to the symbiosis with *B. japonicum* bacteria. In case of their absence or insufficiency, soybean seeds and soil inoculation is conducted. In the first case, the living strains of Rhizobium are used in moist hard or liquid forms for their application on the seeds to keep them viable and be able to settle on all soybean growing roots. Soil inoculation, as a rule, is practiced in combination with the seed contact inoculation by adding inoculant granules with the applicator into the sowing machine. There are differences among different products that use the same or analogical Rhizobium strains. Peat-based products (HiStick, LegumeFix) are considered standard inoculants and stain the treated seeds. Liquid inoculants (LiquiFix, Rizoliq, Turbosoy) do not stain the seeds and are supplied with a number of additives, and they use polymers for protection and adhesion. The combination of several Rhizobium strains in one product is also practiced. As it is important that more bacteria survive after sowing before soybean germination, the rhizobia density and the necessity of following the main practical recommendations in the process of inoculation are the key characteristics of the product quality. The application of the inoculant higher dosage rate does not endanger the environment and usually results in increasing nodule formation and seed yield by 25 %. The inoculation also positively affects field germination and plants survival, their height and individual productivity, decreases the expenses on chemical protection means and increases soil fertility.

Keywords: *Glycine max* (L.) Merr., *Bradyrhizobium japonicum*, nitrogen fixation, inoculant, Rhizobium, yield capacity.

Особливості проведення інокуляції при вирощуванні сої

I. В. Кобилянський

Полтавський державний
аграрний університет,
м. Полтава, Україна

Со́я є найважливішою культурою в світі, попит на яку постійно зростає, що обумовлює необхідність збільшення її якості та врожайності. Відомо, що обов'язковим елементом технології вирощування сої є додаткова інокуляція, яка передбачає обробку бактеріальними препаратами, які містять азотфіксуючі бактерії *Bradyrhizobium japonicum*. Метою статті є дослідження особливостей існуючих методів проведення інокуляції сої. Чим більше врожайність сої, тим більше потреба в азоті, який на 50–60 % покривається біологічною фіксацією завдяки симбіозу з бактеріями *B. japonicum*. За їх відсутності або недостатності проводиться інокуляція насіння сої та ґрунту. У першому випадку використовують живі штами Rhizobium у вологій твердій або рідкій формах для їх нанесення на насіння, щоб воно залишалось життєздатним і могло заселитися на всіх коренях сої, що наростають. Інокуляція ґрунту практикується зазвичай у поєднанні з контактною інокуляцією насіння шляхом внесення гранул інокулянту за допомогою аплікатора у сівалку. Існують відмінності між різними продуктами, які використовують однакові або аналогічні штами Rhizobium. Продукти на основі торфу (HiStick, LegumeFix) вважаються стандартними інокулянтами та надають забарвлення обробленому насінню. Рідкі інокулянти (LiquiFix, Rizoliq, Turbosoy) не забарвлюють насіння та постачаються з рядом добавок і використовують полімери для захисту й адгезії. Практикується також поєднання кількох штамів Rhizobium в одному продукті. Оскільки важливо, щоб якомога більше бактерій вижило після посіву до початку проростання сої, ключовою характеристикою якості продукту є щільність ризобій і необхідність дотримання основних практичних рекомендацій в процесі інокуляції. Використання вищої за норму дози інокулянту не становить жодної загрози навколишньому середовищу та зазвичай призводить до збільшення утворення бульбочок і врожайності насіння до 25 %. Також інокуляція позитивно впливає на польову схожість і виживання рослин, їх висоту й індивідуальну продуктивність, зменшує витрати на хімічні засоби захисту та підвищує родючість ґрунту.

Ключові слова: *Glycine max* (L.) Merr., *Bradyrhizobium japonicum*, азотфіксація, інокулянт, Rhizobium, врожайність.

Бібліографічний опис для цитування: Кобилянський І. В. Особливості проведення інокуляції при вирощуванні сої. *Scientific Progress & Innovations*. 2024. № 27 (2). С. 22–26.

Соя (*Glycine max* (L.) Merr.) є однією з найважливіших бобових культур, які культивуються в світі, завдяки широкому спектру застосування – для виробництва кормів, в олійній і харчовій промисловості [1]. Найбільшими виробниками сої є Бразилія, США, Аргентина та Китай, а загальна площа вирощування сягає 120–130 млн га [2]. В Європі соевий шрот і насіння користуються високим попитом, але регіон залежить переважно від імпорту через невеликі площі вирощування бобових (лише 1,5 % сільськогосподарських угідь) порівняно зі світовими потребами (14,5 %) [3]. При цьому, Центральна Європа має можливість збільшити виробництво бобових, у тому числі нових сортів сої, які добре пристосовані до більш холодного клімату [4, 5].

Вирощування сої в Україні, яка не є традиційною культурою, до 2010 року здійснювалось на площі до 1 млн га, тоді як з першої половини 2010-х років відбулось суттєве зростання її посівних площ і врожайності [6]. Завдяки кількісному й якісному розвитку Україна наразі входить в десятку найбільших світових виробників сої, а прогнозний обсяг пропозиції складає 3,8 млн тонн і має динаміку до збільшення завдяки зростанню зацікавленості сільськогосподарських виробників через збитковість зернових [7]. Ключовими напрямками збуту вітчизняної сої є країни ЄС, що обумовлено територіальними факторами, навіть з урахуванням логістичних проблем сьогодення [8].

На сьогодні завдяки сучасним сортам і технологіям є можливість подолання бар'єру врожайності сої, одержання високої продуктивності посівів і розширення ареалу її вирощування. Комплексне освоєння всіх агротехнічних прийомів, якісне виконання операцій за оптимальних строків забезпечує отримання на незрошуваних українських землях урожайність на рівні 18–25 ц/га, тоді як на зрошуваних – 28–35 ц/га [9]. Середня врожайність сої за органічної технології вирощування в Україні становить 15–18 ц/га, а за сприятливих умов – може досягати 25 ц/га [10].

Важливу роль в отриманні якісного врожаю сої відіграє вирощування правильно підібраних сортів за принципом районування та дотримання всіх необхідних технологічних етапів. Підбір сортів передбачає наявність у насінневого матеріалу для посушливих регіонів посухостійкості, тоді як для північніших широт лімітаційними чинниками є наявність достатньої кількості світла та тепла. Також кожен сорт сої обов'язково має бути високопротеїновим, оскільки вміст (відсоток) протеїну є одним з головних показників якості врожаю, котрі здатні впливати на прибутковість вирощування [11].

Урожайність і якість сої в значній мірі залежить від ґрунтово-погодних й агротехнічних заходів, у тому числі інокуляції насіння. Як бобова культура, соя може фіксувати вільний атмосферний азот завдяки симбіозу з бактеріями *Bradyrhizobium japonicum* [12]. Дослідження [4, 13] зазначають, що *B. japonicum* природним чином не присутній у європейських ґрунтах; таким чином, насіння сої слід інокулювати для збільшення утворення бульбочок. Однак, комерційні інокулянти та мінеральні добрива

можуть бути менш ефективними за мінливих кліматичних умов [14, 15]. Доведено, що дефіцит опадів особливо порушує процес утворення вузлів. При цьому, експерименти з інокуляцією насіння були особливо важливі в регіонах з більш холодним кліматом і за висіву сої вперше в сівозміні [16]. Дослідженням [17] підтверджено зниження ефективності інокуляції насіння за умови вирощування сої в холодному регіоні, однак ця обробка все одно була необхідною, оскільки в ґрунтах був відсутній *B. japonicum*. У цьому аспекті дослідженнями [13, 18] доведено, що введення симбіотичних бактерій у ґрунт, де їх немає, призвело до їх високої чисельності в наступні роки.

Перспективність використання інокулянтів фермерами обумовлена зростанням цін на мінеральні добрива та необхідністю зменшення їх впливу на навколишнє середовище [19]. У дослідженні [20] відзначається чутливість бобових до екологічних стресів, що призводить до змінної врожайності протягом багатьох років. Наприклад, низька або висока температура, нестача або надлишок води, висока солоність або низький рН негативно впливають на утворення бульбочок, що зменшує ступінь біологічної фіксації азоту і кінцевий урожай.

Потреба сої в азоті на 50–60 % покривається біологічною N_2 фіксацією [21], що необхідно врахувати при вирощуванні високоврожайних сортів з більшою потребою в поживних речовинах [22]. Так, врожайність кращих сортів сої становить 5 т/га, тоді як потенційна врожайність може досягати 7 т/га [23]. У цьому випадку утворення бульбочок має бути дуже ефективним, щоб задовольнити потреби рослин в азоті. Отже, при вирощуванні високоврожайних сортів може знадобитися підгодівля невеликою дозою азоту [21], але основним джерелом цього елемента повинен бути біологічно фіксований азот.

Таким чином, потрібна ретельна інокуляція насіння або ґрунту, щоб корінь рослини, що розвивається, заселився бактерією *B. japonicum* [24]. За умови правильної інокуляції біологічна азотфіксація сої може повністю покрити потреби культури в азотних добривах [25]. Отже, розрізняють інокуляцію насіння та ґрунту.

Для інокуляції насіння інокулянт купують у вигляді живих штамів ризобій (*Rhizobium*) у вологій твердій або рідкій формах. Загальна мета полягає в тому, щоб нанести бактерії на насіння, щоб воно залишалось життєздатним і могло засилитися на всіх коренях сої, що наростають. Найпростіший спосіб – придбати попередньо інокульований посівний матеріал. Покладатися на це не рекомендується, оскільки життєздатність інокулянту до моменту посіву насіння дуже різна. Найпоширенішим підходом є використання контактної інокуляції насіння якомога раніше перед посівом. Препарати на основі торфу (наприклад, HiStick, LegumeFix) можна змішувати вручну безпосередньо в ємності для насіння. Прецизійні змішувачі зазвичай встановлюються на трактор і використовуються там, де інокулянт на основі торфу містить полімерний клей (наприклад, Force 48). Клей повинен мати достатньо часу, щоб висохнути на насінні, щоб воно не забивалося в сівалці.

З насінням слід поводитися обережно. Розсипання насіння між великими мішками є хорошим способом обережного перемішування інокулянта через насіння. Інокуляція розпиленням потоку насіння є дуже ефективною, але це можна використовувати лише з рідкими препаратами (наприклад, LiquiFix, Rizoliq, Turbosoy) [26].

Інокуляція ґрунту практикується у Франції, зазвичай у поєднанні з контактною інокуляцією насіння. Гранули інокулянту вносяться за допомогою аплікатора гранул у сівалку. Досягаються дуже хороші результати, але слід подбати про те, щоб гранули постійно проходили через сівалку. Дуже ефективним є поєднання контактної та ґрунтової інокуляції.

Існують помітні відмінності між продуктами, які використовують однакові або подібні штами *Rhizobium*. Продукти на основі торфу (наприклад, HiStick, LegumeFix) вважаються стандартними інокулянтами. Вони мають додаткову перевагу – забарвлення обробленого насіння. Використання полімерних адгезивів особливо актуально для пневматичного посіву, оскільки пневматичні сівалки прагнуть видалити інокулянт із насіння [27].

Рідкі інокулянти (наприклад, LiquiFix, Rizoliq, Turbosoy) постачаються з рядом добавок і використовують полімери для захисту й адгезії. На відміну від продуктів на основі торфу, рідкі інокулянти не забарвлюють насіння, а це означає, що інокульоване насіння має бути ретельно марковане або помічене. Існують відмінності між продуктами інокуляції щодо штамів *Rhizobium*. У той час як французький штам G49 був стандартним, зараз використовуються різні нові штами від Embgara в Бразилії, Міністерства сільськогосподарства США та канадських і південноафриканських інститутів. Кілька виробників поєднують кілька штамів в одному продукті. Навіть у Китаї, де *V. japonicum* присутній у великій кількості в ґрунті, використання інокулянтів зростає, оскільки сучасні комерційні сорти здатні до вищої продуктивності.

Щільність ризобій у продукті є ключовою характеристикою якості. Скільки бактерій на грам присутні на виробництві, скільки з них виживає до доставки, і яка кількість насправді знаходиться на зерні, коли воно контактує з ґрунтом? Дані виробника зазвичай становлять від одного до трьох мільярдів на грам вакцини (1×10^9 або 3×10^9). Чим вище початкове число, тим більше шансів, що достатня кількість бактерій виживе навіть за несприятливих умов до проростання насіння. Тим не менш, продукт з нижчою щільністю може бути кращим, якщо якість ризобій і рецептура кращі. Також є помітні відмінності в якості ризобій [28].

Вкрай важливо, щоб якомога більше бактерій вижило після посіву до початку проростання. Наприклад, Rizoliq і Turbosoy сприяють процесам стабілізації ризобіумів. Бактерії *Rhizobium* чутливі до рН ґрунту за межами діапазону 6,5–7,5. Biofil/Terragro пропонує сорти, відібрані для кислих або лужних ґрунтів.

Основні практичні рекомендації інокуляції насіння сої [29]:

1. Ефективний інокулянт слід використовувати відповідно до інструкції.

2. Насіння слід інокульовати подвійною дозою, якщо соя вперше в сівозміні. У цьому випадку доцільно поєднати два різних інокулянти.

3. В ідеалі інокуляція та посів повинні відбуватися в один день, щоб висівати тільки щойно інокульоване насіння. Rizoliq або Turbosoy пропонують можливість обробки насіння за 15 днів до посіву.

4. Інокулянти повинні зберігатися в прохолодному темному місці при температурі не вище 25 °С.

5. УФ-світло вбиває бактерії. Слід уникати впливу сонячного світла на інокулянт та інокульоване насіння. Всі роботи слід проводити в тіні.

6. Насіння, оброблене полімерним адгезивом, слід перемішати приблизно через 20 хвилин після обробки, щоб запобігти утворенню грудок.

7. Сівалка повинна бути очищена від залишків попередньої обробки насіння пестицидами.

8. Слід уникати будь-якого контакту насіння з хлорованою водою, включаючи хлоровану міську питну воду.

9. Приблизно через шість тижнів після посіву можна перевірити бульбочки на коренях сої. Для цього потрібно викопати лопатою близько п'яти рослин з різних місць на полі, обережно очистити від коренів ґрунт і підрахувати кількість бульбочок. У середньому від 10 до 30 вузликів на коренях можна вважати хорошим або дуже хорошим утворенням вузликів. Вузлики розміром з горошину зазвичай працюють краще, ніж менші вузлики.

Експерименти [30] свідчать, що інокуляція насіння позитивно впливає на утворення бульбочок і фізіологічні параметри рослин сої. Але фермер повинен проводити таку обробку у власному господарстві, що є витратним і трудомістким процесом. У дослідженні [31] продемонстровано, що внесення симбіотичних бактерій у ґрунт може бути альтернативою, оскільки ефекти такої обробки були кращими, ніж інокуляція насіння. Необхідно відмітити, що деякі компанії пропонують готове до посіву насіння, покрите відповідним штамом бактерій [32]. Однак, ефективність покриття може бути нижчою, ніж традиційна інокуляція насіння, хоча це економить час для фермерів, особливо за великих площ культивування сої [33].

Доцільно відмітити, що використання вищої дози інокулянту, ніж рекомендовано, не становить жодної загрози навколишньому середовищу та зазвичай призводить до збільшення утворення бульбочок і врожайності насіння до 25 % [34]. Також інокуляція позитивно впливає на польову схожість і виживання рослин [35], їх висоту й індивідуальну продуктивність [36, 37]. При цьому, передпосівна обробка насіння сої (особливо інокуляція) сприяє зменшенню витрат на хімічні засоби захисту та підвищує родючість ґрунту [38].

Однак слід зазначити, що інокуляція великої кількості насіння сої технічно складний і витратний процес. Стверджується, що за умови вирощування сої в сприятливих кліматичних умовах немає користі від використання більшої кількості інокулянтів [39]. В той же час, інокуляція насіння не завжди

приводить до збільшення врожайності або вмісту білка в насінні, оскільки кліматичні умови вирощування й агротехніка також відіграють значну роль [40].

Висновки

Метою проведеного огляду доступних наукових літературних джерел було обґрунтування доцільності проведення інокуляції сої та здійснено аналіз існуючих методів. З літературних джерел встановлено, що запорукою забезпечення попиту на сою є збільшення її якості та врожайності, що, головним чином, залежить від природно-кліматичних умов, агротехнологічних заходів і сортових характеристик. Сучасні високоврожайні сорти сої потребують більше азоту, який на 50–60 % забезпечується біологічною фіксацією завдяки симбіозу з бактеріями *B. japonicum*. Якщо вони відсутні або їх недостатньо, проводиться інокуляція насіння сої та ґрунту. Контактна інокуляція сої передбачає використання живих штамів *Rhizobium* у вологій твердій або рідкій формах для нанесення на насіння, щоб воно залишалося життєздатним і могло заселитися на всіх коренях рослини, що наростають. Інокуляція ґрунту застосовується, головним чином, у поєднанні з контактною інокуляцією насіння шляхом внесення гранул інокулянту в сівалку. Важливо, щоб найбільше бактерій вижило після посіву сої до початку проростання, що обумовлює вибір продукту для інокуляції з високою щільністю ризобій і дотримання основних практичних рекомендацій в процесі інокуляції. Доведено, що використання більшої норми інокулянту не становить ніякої загрози навколишньому середовищу, здебільшого призводить до збільшення утворення бульбочок і врожайності насіння до 25 %. Також інокуляція позитивно впливає на польову схожість і виживання рослин, їх висоту й індивідуальну продуктивність, зменшує витрати на хімічні засоби захисту та підвищує родючість ґрунту.

Конфлікт інтересів

Автор стверджує про відсутність конфлікту інтересів щодо викладу та результатів досліджень.

References

1. 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, 6672. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-57008-y>
2. Iturralde, E. T., Covelli, J. M., Álvarez, F., Pérez-Giménez, J., Arrese-Igor, C., & Lodeiro, A. R. (2019). Soybean-nodulating strains with low intrinsic competitiveness for nodulation, good symbiotic performance, and stress-tolerance isolated from soybean-cropped soils in Argentina. *Frontiers in Microbiology*, 10, 1061. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01061>
3. Watson, C. A., Reckling, M., Preissel, S., Bachinger, J., Bergkvist, G., Kuhlman, T., Lindström, K., Nemecek, T., Topp, C. F. E., Vanhatalo, A., Zander, P., Murphy-Bokern, D., & Stoddard, F. L. (2017). Chapter Four – Grain legume production and use in European agricultural systems. *Advances in Agronomy*, 144, 235–303. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2017.03.003>
4. Zimmer, S., Messmer, M., Haase, T., Piepho, H. P., Mindermann, A., Schulz, H., Habekuß, A., Ordon, F., Wilbois, K. P., & Heß, J. (2016). Effects of soybean variety and *Bradyrhizobium* strains on yield, protein content and biological nitrogen fixation under cool growing conditions in Germany. *European Journal of Agronomy*, 72, 38–46. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.09.008>
5. Staniak, M., Szpunar-Krok, E., & Kocira, A. (2023). Responses of Soybean to selected abiotic stresses-photoperiod, temperature and water. *Agriculture*, 13 (1), 146. <https://doi.org/10.3390/agriculture13010146>
6. Ohliad ukrainskoho rynku soi – 2022/23. (2023). *ShareUaPotential*. Retrieved from: <http://shareupotential.com/ru/BE/ukrainian-soya-2023.html> [in Ukrainian]
7. Chaika, T. O. (2023). Vyroshchuvannya orhanichnoi soi v Ukraini: perspektivy ta realnist. *Aktualni napriamky ta problematyka u tekhnolohiiakh vyroshchuvannya produktivni roslinnytva: Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii*. Poltava: PDAU [in Ukrainian]
8. Kuprieva, S. (2023). Soia – perspektivy naiblyzhchi ta daleki. *UkrAhroKonsalt*. Retrieved from: <https://ukragroconsult.com/news/soya-perspektivy-naiblyzhchi-ta-daleki/> [in Ukrainian]
9. Zabolotnyi, H. M., Mazur, V. A., Tsyhanska, O. I., Didur, I. M., Tsyhanskyi, V. I., & Pantsyryeva, H. V. (2020). *Ahrobiolohichni osnovy vyroshchuvannya soi ta shliakhy maksimalnoi realizatsii yii produktivnosti : monohrafiia*. Vinnytsia: FOP Korzun D. Iu. [in Ukrainian]
10. Rikhter, T., Likhtenkan, M., Kravchenko, A., Asam, L., & Dirauer, Kh. (2014). *Orhanichna soia*. Kyiv: Doslidnyi instytut orhanichnoho silskoho hospodarstva (FiBL). [in Ukrainian]
11. Cherkas, V. (2021). Vyroshchuvannya soi: na shcho slid zvernuty uvahu. *Ahrobiznes Sohodni*. Retrieved from: <http://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/20930-vyroshchuvannya-soi-na-shcho-slid-zvernuty-uvahu.html> [in Ukrainian]
12. Griebsh, A., Matschavelli, N., Lewandowska, S. & Schmidtke, K. (2020). Presence of *Bradyrhizobium* sp. under continental conditions in central Europe. *Agriculture*, 10 (10), 446. <https://doi.org/10.3390/agriculture10100446>
13. Narożna, D., Pudelko, K., Króliczek, J., Golińska, B., Sugawara, M., Maźrzak, C. J., & Sadowski, M. J. (2015). Survival and competitiveness of *Bradyrhizobium japonicum* strains 20 years after introduction into field locations in Poland. *Applied and Environmental Microbiology*, 81 (16), 5552–5559. <https://doi.org/10.1128/AEM.01399-15>
14. Prusiński, J., Baturo-Cieśniewska, A., & Borowska, M. (2020). Response of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) to mineral nitrogen fertilization and *Bradyrhizobium japonicum* seed inoculation. *Agronomy*, 10 (9), 1300. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091300>
15. Ambrosini, V. G., Fontoura, S. M. V., de Moraes, R. P., Tamagno, S., Ciampitti, I. A., & Bayer, C. (2019). Soybean yield response to *Bradyrhizobium* strains in fields with inoculation history in Southern Brazil. *Journal of Plant Nutrition*, 42, 1941–1951. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1648680>
16. Pannecoque, J., Goormachtigh, S., Ceusters, J., Debode, J., Van Waes, C., & Van Waes, J. (2018). Temperature as a key factor for successful inoculation of soybean with *Bradyrhizobium* spp. under cool growing conditions in Belgium. *The Journal of Agricultural Science*, 156 (4), 493–503. <https://doi.org/10.1017/S0021859618000515>
17. Kühling, I., Hüsing, B., Bome, N., & Trautz, D. (2018). Soybeans in high latitudes: Effects of *Bradyrhizobium* inoculation in north-west Germany and southern west Siberia. *Organic Agriculture*, 8, 159–171. <https://doi.org/10.1007/s13165-017-0181-y>
18. Albareda, M., Rodriguea-Navarro, D. N., & Temprano, F. J. (2009). Soybean inoculation: Dose, N fertilizer supplementation and rhizobia persistence in soil. *Field Crops Research*, 113 (3), 352–356. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.05.013>
19. Thilakarathna, M. S., & Raizada, M. N. (2017). A meta-analysis of the effectiveness of diverse rhizobia inoculants on soybean traits under field conditions. *Soil Biology and Biochemistry*, 105, 177–196. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.11.022>
20. Duzan, H. M., Zhou, X., Souleimanov, A., & Smith, D. L. (2004). Perception of *Bradyrhizobium japonicum* Nod factor by soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] root hairs under abiotic stress conditions. *Journal of Experimental Botany*, 55 (408), 2641–2646. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh265>

21. Salvagiotti, F., Cassman, K. G., Specht, J. E., Walters, D. T., Weiss, A., & Dobermann, A. (2008). Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: A review. *Field Crops Research*, 108 (1), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2008.03.001>
22. Du, Y., Zhao, Q., Li, S., Yao, X., Xie, F., & Zhao, M. (2019). Shoot/root interactions affect soybean photosynthetic traits and yield formation: a case study of grafting with record-yield cultivars. *Frontiers in Plant Science*, 10, 445. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00445>
23. Cooper, R. L. (2003). A delayed flowering barrier to higher soybean yields. *Field Crops Research*, 82 (1), 27–35. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(03\)00003-0](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(03)00003-0)
24. 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>
25. Inokuliatyia soi yak sposib pidvyshchennia vrozhaivosti vyroshchuvanykh kultur. Retrieved from: <https://posivna.com.ua/ua/zamitky-ahronoma/inokulyatsiya-soji-yak-sposib-pidvyshchennya-vrozhaivosti-viroshchuvanykh-kultur> [in Ukrainian]
26. Rulli, M. C., Savioli, A., & D'Odorico, P. (2013). Global land and water grabbing. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(3), 892–897. <https://doi.org/10.1073/pnas.1213163110>
27. Jarecki, W., & Migut, D. (2022). Comparison of yield and important seed quality traits of selected legume species. *Agronomy*, 12 (11), 2667. <https://doi.org/10.3390/agronomy12112667>
28. Von Beesten, F., Miersch, M., & Recknagel, J. (2019) Inoculation of soybean seed. *Legumes Translated Practice Note 1*. Retrieved from: <https://orgprints.org/id/eprint/39224/4/von-beesten-et-al-2019-inoculation-en.pdf>
29. Pommeresche, R., & Hansen, S. (2017). Examining root nodule activity on legumes. FertilCrop Technical Note. Research Institut of Organic Agriculture (FiBL) and Norwegian Centre for Organic Agriculture (NORSØK), Frick and Tingvoll. Retrieved from: https://orgprints.org/id/eprint/31344/1/tn-wp5-root-nodules_final_2017.pdf
30. Jarecki, W. (2022). Physiological response of soybean plants to seed coating and inoculation under pot experiment conditions. *Agronomy*, 12 (5), 1095. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051095>
31. Althabegoiti, M. J., López-García, S. L., Piccinetti, C., Mongiardini, E. J., Perez-Gimenez, J., Quelas, J. I., Peticari, A., & Lodeiro, A. R. (2008). Strain selection for improvement of *Bradyrhizobium japonicum* competitiveness for nodulation of soybean. *FEMS Microbiology Letters*, 282 (1), 115–123. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2008.01114.x>
32. Pedrini, S., Merritt, D. J., Stevens, J., & Dixon, K. (2017). Seed coating: Science or marketing spin? *Trends in Plant Science*, 22 (2), 106–116. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.11.002>
33. Wächter, K., Gruber, S., & Claupein, W. (2013). Do soybean inoculants differ in their inoculation efficacy? *Journal für Kulturpflanzen*, 65 (11), 401–410. <https://doi.org/10.5073/JFK.2013.11.01>
34. Deaker, R., Roughley, R. J., & Kennedy, I. R. (2004). Legume seed inoculation technology – a review. *Soil Biology and Biochemistry*, 36 (8), 1275–1288. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.04.009>
35. Chaika, T. O. (2023). Vplyv inokuliatyii nasinnia na polovu skhozhist i vyzyvannia roslyn soi za orhanichnoho vyrobnytstva. *Urozhaivist ta yakist produktii roslynnytstva za suchasnykh tekhnologii vyroshchuvannia, prysviachena 90-richchii z dnia narodzhennia profesora H. P. Zhemely: materialy Mizhnarodnoi nauково-praktychnoi internet-konferentsii*. Poltava: PDAU. [in Ukrainian]
36. Chaika, T. O., & Ponomarenko, S. V. (2015). Tekhnoloho-ekonomichni osoblyvosti vyroshchuvannia orhanichnoi soi ta ozymoi pshenytsi na furazh. *Visnyk Umanskoho natsionalnoho universytetu sadivnytstva*, 1, 100–105. [in Ukrainian]
37. Chaika, T. O., Liashenko, V. V., & Khomenko, B. S. (2023). The impact of seed inoculation on soybean yield under organic cultivation technology. *Taurian Scientific Herald*, 133, 180–187. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.133.24>
38. Kobylynskyi, I., & Antonets, O. (2023). The impact of pre-sowing soybean seed preparation on yield capacity. *Scientific Progress & Innovations*, 26 (4), 24–28. <https://doi.org/10.31210/spi2023.26.04.05>
39. Carciocchi, W. D., Rosso, L. H. M., Secchi, M. A., Torres, A. R., Naeve, S., Casteel, S. N., Kovács, P., Davidson, D., Purcell, L. C., Archontoulis, S., Ciampitti, I. A. (2019). Soybean yield, biological N₂ fixation and seed composition responses to additional inoculation in the United States. *Scientific Reports*, 9, 19908. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56465-0>
40. López-García, S. L., Peticari, A., Piccinetti, C., Ventimiglia, L., Arias, N., De Battista, J. J., Althabegoiti, M. J., Mongiardini, E. J., Pérez-Giménez, J., Quelas, J. I., & Lodeiro, A. R. (2009). In-Furrow inoculation and selection for higher motility enhances the efficacy of *Bradyrhizobium japonicum* nodulation. *Agronomy Journal*, 101 (2), 357–363. <https://doi.org/10.2134/agronj2008.0155x>

ORCID

I. Kobylynskyi  <https://orcid.org/0009-0002-8101-2056>



2024 Kobylynskyi I. This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.