

Formation of symbiotic activity of soybean depending on plant irrigation in the Forest-Steppe of Ukraine

V. Kravchenko✉ | D. Akinchyts | L. Vyshnevskaya | A. Yatsenko

Article info

Correspondence Author

V. Kravchenko

E-mail:

vitaliikrav22@gmail.com

Uman National University,
Instytutska Str., 1, Building
No. 4, Office 174, Uman,
20300, Ukraine

Citation: Kravchenko, V., Akinchyts, D., Vyshnevskaya, L., & Yatsenko, A. (2025). Formation of symbiotic activity of soybean depending on plant irrigation in the Forest-Steppe of Ukraine. *Scientific Progress & Innovations*, 28(4), 74–79. doi: 10.31210/spi2025.28.04.10

The study investigated the effects of different irrigation regimes on productivity, symbiotic activity, and seed quality formation of soybean (*Glycine max* (L.)) under the conditions of the Forest-Steppe zone of Ukraine. Field experiments were conducted during 2023–2025 at the experimental field of Uman National University. The aim of the research was to identify an optimal soil moisture regime that ensures high yield and effective biological nitrogen fixation while minimizing irrigation water consumption. The experimental design included four irrigation treatments: a non-irrigated control, limited irrigation (50 % of field capacity), moderate irrigation (70 %), and full irrigation (100 %). Irrigation was applied when soil moisture in the plow layer decreased to 60–65 % of field capacity. Total irrigation rates ranged from 1,200 to 2,400 m³/ha depending on the treatment. After irrigation, soil moisture increased to 28–32 % under moderate irrigation and to 30–33 % under full irrigation, creating favorable conditions for plant growth and reproductive development. Soybean yield increased proportionally with irrigation level and reached a maximum of 3.05 t/ha under full irrigation. However, moderate irrigation provided a yield of 2.90 t/ha, which was statistically comparable while reducing water consumption by 25 %, indicating higher water-use efficiency. Irrigation also significantly enhanced symbiotic nitrogen fixation. Seed inoculation with the biological preparation Rhizogumin-Plus stimulated nodule formation and nitrogen fixation in both studied cultivars (ES Mentor and Halleck). At the optimal concentration of 0.75 %, nodule mass in ES Mentor increased from 0.36 to 0.49 g per plant, and nitrogen fixation rose from 77.38 to 79.06 kg/ha. The Halleck cultivar exhibited higher overall symbiotic activity, with nodule mass reaching 0.91 g per plant and nitrogen fixation of 124.56 kg/ha. The results demonstrate that maintaining soil moisture at 70–80 % of field capacity in combination with biological inoculation ensures balanced interaction between water availability and symbiotic nitrogen fixation, promotes protein-rich seed formation, and improves environmental sustainability. Moderate irrigation combined with seed inoculation is therefore recommended as a resource-efficient strategy for soybean cultivation in the Forest-Steppe zone of Ukraine.

Keywords: soybean, seeds, quality, irrigation, yield, Forest-Steppe of Ukraine.

Формування симбіотичної активності сої залежно від зрошування рослин у зоні Лісостепу України

В. С. Кравченко | Д. Л. Акінчиц | Л. В. Вишневська | А. О. Яценко

Уманський національний
університет,
м. Умань, Україна

У статті наведено результати досліджень впливу різних режимів зрошення на продуктивність, симбіотичну активність і якість насіння сої (*Glycine max* (L.)) в умовах Лісостепу України. Польові дослідження проводили 2023–2025 років на дослідному полі Уманського національного університету. Метою роботи було визначення оптимального водного режиму ґрунту, який забезпечує високу врожайність і ефективну азотофіксацію за умови раціонального використання поливної води. Схема досліду включала варіанти без зрошення (контроль), обмежене зрошення (50 % НВ), помірне (70 % НВ) і повне (100 % НВ). Полив здійснювали за умови зниження вологості ґрунту в орному шарі до 60–65 % НВ. Загальні витрати поливної води становили 1200–2400 м³/га. У результаті зрошення вологість ґрунту підвищувалася до 28–32 % за умови помірного та до 30–33 % за умови повного зрошення, що забезпечувало сприятливі умови для росту і формування генеративних органів. Урожайність сої зростала зі збільшенням рівня зрошення і досягала 3,05 т/га у разі повного зрошення. Водночас помірне зрошення забезпечило урожайність 2,90 т/га за умови на 25 % менше витрати води, що свідчить про його вищу ресурсну ефективність. Зрошення істотно активізувало симбіотичні процеси. Передпосівна інокуляція насіння біопрепаратом Різогумін-Плюс (0,75 %) сприяла збільшенню маси бульбочок і обсягів фіксованого азоту. У сорту ЕС Ментор маса бульбочок зросла з 0,36 до 0,49 г/рослину, а фіксація азоту – з 77,38 до 79,06 кг/га. Сорт Галлек характеризувався вищою симбіотичною активністю (0,91 г/рослину; 124,56 кг/га). Встановлено, що поєднання оптимального рівня зволоження ґрунту (70–80 % НВ) із біологічною інокуляцією забезпечує підвищення врожайності, покращення якості насіння та екологічну стабільність технології вирощування сої в умовах Лісостепу України.

Ключові слова: соя, зрошування, симбіотична активність, азотофіксація, урожайність, Лісостеп України.

Бібліографічний опис для цитування: Кравченко В. С., Акінчиц Д. Л., Вишневська Л. В., Яценко А. О. Формування симбіотичної активності сої залежно від зрошування рослин у зоні Лісостепу України. *Scientific Progress & Innovations*. 2025. № 28 (4). С. 74–79.

Вступ

Соя (*Glycine max* L.) є однією з найважливіших стратегічних культур України, що набуває дедалі більшого поширення у структурі посівних площ завдяки високій харчовій, кормовій та економічній цінності. Проте, незважаючи на стабільне зростання інтересу до цієї культури, показники урожайності та якості насіння сої залишаються нестійкими, особливо в умовах Степу та Лісостепу, де вирішальним лімітуючим чинником є водозабезпечення у поєднанні з температурним режимом вегетаційного періоду [1, 2].

У дослідному полі Уманського району Черкаської області, як і в більшості регіонів Лісостепу України, відсутність систематичного зрошення та дефіцит ґрунтової вологи у критичні фази розвитку рослин (цвітіння, формування та налив бобів) зумовлюють зниження продуктивності посівів, погіршення якісних показників насіння, зменшення його фракційної однорідності та маси 1000 насінин [3].

Зрошення є одним із ключових агротехнічних факторів, що визначає інтенсивність ростових процесів, формування врожаю та накопичення білків, олій і інших поживних речовин у насінні сої. Недостатнє зволоження призводить до водного стресу, порушення фізіолого-біохімічних процесів і формування щуплого насіння зі зниженими якісними показниками [4]. Водночас надмірне зрошення може спричиняти розвиток хвороб, зниження вмісту олій, погіршення схожості насіння та деградацію ґрунтів унаслідок закислення або вторинного перезволоження. Тому забезпечення оптимального водного режиму протягом усього вегетаційного періоду, особливо у критичні фази онтогенезу, є необхідною умовою одержання високоякісного насіннєвого матеріалу [5–7].

Сортові особливості сої також відіграють визначальну роль у реалізації продуктивного потенціалу культури. Більшість сортів характеризуються обмеженою екологічною пластичністю, що зумовлює необхідність їх адаптації до конкретних ґрунтово-кліматичних умов. Для Лісостепу України найбільш придатними є середньоранні та середньостиглі сорти, які здатні ефективно використовувати доступну вологу та елементи мінерального живлення і водночас уникати негативного впливу несприятливих погодних чинників завдяки оптимальній тривалості вегетаційного періоду [8, 9].

Водночас скоростиглі сорти потребують більш точного регулювання елементів технології вирощування, оскільки обмежена тривалість вегетації зменшує можливості компенсації дії абіотичних стресів. Сорти пізніших строків досягання, навпаки, характеризуються вищою адаптивною пластичністю, що дозволяє частково нівелювати нестачу вологи або поживних речовин за рахунок змін структури врожаю. Отже, ефективність реалізації сортового потенціалу сої безпосередньо залежить від умов вирощування, насамперед рівня зволоження ґрунту та застосованих агротехнічних заходів [10].

Зважаючи на це, актуальним є наукове обґрунтування оптимальних режимів зрошення сої в умовах Лісостепу України з урахуванням їх впливу не лише

на урожайність, а й на формування якісних показників насіння. Особливого значення набуває поєднання водного режиму з біологічними факторами продуктивності, зокрема активністю симбіотичної азотофіксації, що безпосередньо впливає на білкову цінність насіння та екологічну стійкість агроєкосистем [11, 12].

Наукова новизна дослідження полягає у з'ясуванні закономірностей формування якісних показників насіння сої та рівня симбіотичної активності залежно від різних режимів зрошення в умовах Лісостепу України. Уперше для цієї природно-кліматичної зони обґрунтовано ресурсозберігаючий режим зрошення (70–80 % НВ), який забезпечує оптимальне поєднання врожайності, якості насіння та ефективності біологічної азотофіксації у сучасних сортів сої.

Мета дослідження

Метою дослідження є встановлення впливу режимів зрошення на формування врожайності, якісних показників насіння та симбіотичної активності сої в умовах Лісостепу України з метою обґрунтування оптимальних умов вирощування культури.

Завданнями дослідження було з'ясувати вплив різних режимів зрошення на водний стан ґрунту, продуктивність та якісні показники насіння сої в умовах Лісостепу України; визначити оптимальний рівень зволоження орного шару ґрунту за показником найменшої вологості (НВ), який забезпечує максимальну реалізацію врожайного потенціалу культури у разі раціонального використання водних ресурсів; оцінити ефективність застосування біологічного препарату Ризогумін-Плюс у різних концентраціях щодо формування бульбочкової системи, активного симбіотичного потенціалу та рівня біологічно фіксованого азоту у рослин сої різних сортів; встановити взаємозв'язок між водним режимом ґрунту, інтенсивністю симбіотичних процесів і формуванням урожайності та білковості насіння; обґрунтувати ресурсоощадну технологічну схему вирощування сої, що поєднує помірне зрошення (70–80 % НВ) з передпосівною обробкою насіння біопрепаратом для умов Правобережного Лісостепу України.

Матеріали і методи

Польові дослідження з вивчення впливу режимів зрошення на формування врожайності, якісних показників насіння та симбіотичної активності сої проводили 2023–2025 років на дослідному полі Уманського національного університету (Черкаська область, Уманський район). Територія досліджень розташована у центральній частині Правобережного Лісостепу України, яка характеризується помірно теплим кліматом із періодичними проявами посушливих умов у літній період.

Ґрунтовий покрив дослідної ділянки представлений чорноземом типовим малогумусним, крупнопилувато-середньосуглинковим за гранулометричним складом. Уміст гумусу в орному шарі (за Тюрнімом)

становив 4,4–4,6 %, реакція ґрунтового розчину – рН 6,8–7,2, ємність катіонного обміну – 30–32 мг-екв на 100 г ґрунту. Уміст загального азоту (за К'ельдалем) – 0,28–0,31 %, фосфору – 0,16–0,24 %, калію – 2,3–2,5 %. Рухомі форми елементів живлення (за Мачигінім) становили: фосфору – 4,5–5,3 мг, калію – 9,8–10,2 мг на 100 г ґрунту [1, 13].

Метеорологічні умови в роки проведення досліджень характеризувалися значною міжрічною різницею кількості опадів і температурного режиму (рис. 1). Загальна кількість опадів за вегетаційні роки становила 583,5 мм (2022–2023 рр.), 487,2 мм (2023–2024 рр.) та 525,5 мм (2024–2025 рр.). Найбільший дефіцит вологи спостерігали у весняно-літній період, зокрема в червні–липні, що збігалось з критичними фазами розвитку сої. Середньорічна температура повітря коливалася в межах 9,9–11,8 °С, а в літні місяці досягала 22,8–24,3 °С, що у разі недостатнього зволоження посилювало абіотичний стрес рослин.

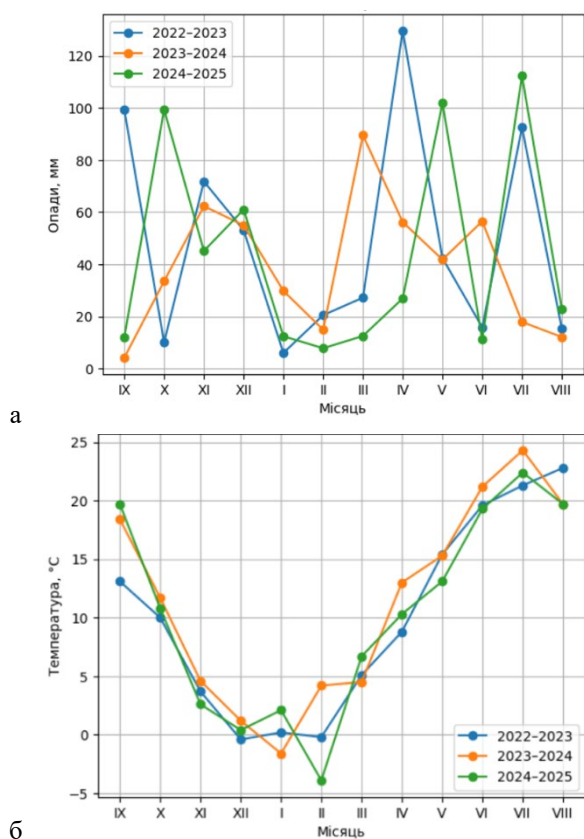


Рис. 1. Кількість опадів (а) та середньомісячна температура повітря (б) за вегетаційні роки 2022–2025 рр.

(за даними метеостанції Умань)

Дослідження проводили за схемою двофакторного польового досліду у триразовій повторності. Фактор А – рівень зрошення: без зрошення (контроль); крапельне зрошення – 50 % НВ; крапельне зрошення – 70 % НВ.

Фактор В – сорт сої:

- ES Mentor – середньоранній сорт, оригінатор – *Euralis Semences* (Франція);
- Halleck – середньостиглий сорт, оригінатор – *AgReliant Genetics* (США).

Сорти відрізняються за тривалістю вегетаційного періоду та рівнем адаптивності до умов недостатнього зволоження, що дозволяло об'єктивно оцінити їх реакцію на різні режими зрошення.

Попередником культури була озима пшениця. Основний обробіток ґрунту включав зяблеву оранку на глибину 22–25 см. Навесні проводили закриття вологи боронуванням і передпосівну культивуацію.

Сівбу сої здійснювали у другій декаді травня за умови прогрівання ґрунту на глибині 10 см до 10–12 °С. Спосіб сівби – рядковий із шириною міжрядь 45 см. Норма висіву становила 600 тис. схожих насінин на 1 га, глибина загортання насіння – 4–5 см.

Система захисту рослин передбачала застосування ґрунтових і страхових гербіцидів залежно від рівня забур'яненості посівів. Інсектицидні та фунгіцидні обробки проводили за потреби відповідно до фітосанітарного стану посівів. Збирання врожаю здійснювали у фазі повної стиглості насіння методом прямого комбайнування.

Зрошення здійснювали крапельним способом. Поливи проводили у разі зниження вологості ґрунту в орному шарі до 60–65 % НВ з доведенням її до запланованого рівня (50 або 70 % НВ залежно від варіанта). Загальна норма поливної води за вегетаційний період становила 1200–2400 м³/га.

Перед сівбою насіння сої обробляли біопрепаратом Ризогумін-Плюс, що містить активні штами *Bradyrhizobium japonicum*. Інокуляцію проводили в день сівби методом напівсухої обробки. Норма витрати препарату становила 0,75 % від маси насіння. Після обробки насіння витримували у затіненому місці протягом 30–40 хв і висівали у ґрунт.

Урожайність визначали методом суцільного обліку з облікових ділянок із перерахунком на стандартну вологість насіння (14 %) і 100 % чистоту. Симбіотичну активність оцінювали за масою бульбочок та кількістю фіксованого азоту.

Статистичну обробку результатів здійснювали з використанням програм Microsoft Excel та Statistica 10 з визначенням середніх значень, середньої похибки та достовірності різниць між варіантами дослідів ($p \leq 0,05$).

Результати та їх обговорення

У ході дослідження було проведено облік та порівняння кількості води, використаної при різних режимах зрошення. Максимальний обсяг зрошувальної води був застосований у варіанті повного зволоження (70 % НВ), тоді як мінімальний – у варіанті обмеженого зрошення (50 % НВ). Результати показали, що врожайність сої за умови повного та помірного зрошення була близькою між собою, однак у варіанті з меншим водоспоживанням досягали більш економного використання водних ресурсів без суттєвого зниження продуктивності рослин [16].

Поливи проводили тоді, коли вологість орного шару ґрунту знижувалася до 60–65 % від найменшої вологості, підтримуючи водний режим у межах, оптимальних для росту сої. У контрольному (незрошуваному) варіанті вологість ґрунту впродовж вегетації знижувалася до критичних значень (10–14 %

об'єму), що призводило до в'янення листків і зменшення кількості бобів на рослині [21, 22].

Після проведення зрошення вміст води в ґрунті у зрошуваних варіантах зростав до 28–32 %, що забезпечувало активний ріст рослин та інтенсивне формування генеративних органів. У варіанті з помірним

рівнем зрошення (50 % НВ) спостерігали коливання вологості в межах 15–24 %, тоді як за відсутності зрошення вологість орного шару не перевищувала 10–14 %, що свідчило про недостатнє зволоження кореневої зони та обмеження реалізації продуктивного потенціалу культури (*табл. 1*).

Таблиця 1

Урожайність сої залежно від режиму зрошення та сорту (середнє за 2023–2025 рр., Уманський НУ)

Режим зрошення	Урожайність, т/га (ES Mentor)	Урожайність, т/га (Галлек)	Середнє по фактору А
Без зрошення (контроль)	1,72±0,06	1,88±0,05	1,80
50% НВ	2,55±0,07	2,75±0,06	2,65
70% НВ	2,78±0,08	3,02±0,07	2,90
100% НВ	2,90±0,09	3,20±0,08	3,05
Середнє по фактору В	2,49	2,71	-
НІР _{0,05} : фактор А – 0,14 т/га; фактор В – 0,11 т/га; взаємодія А×В – 0,19 т/га.			

Примітка: дані наведено як середнє значення ± стандартна похибка.

Отримані результати свідчать про чітко виражений вплив режиму зрошення на врожайність сої, а також про наявність статистично достовірної взаємодії факторів «режим зрошення × сорт». У всіх варіантах дослідів сорт Галлек формував вищу урожайність порівняно з сортом ES Mentor.

За відсутності зрошення різниця між сортами становила 0,16 т/га, тоді як за помірного (70 % НВ) та повного (100 % НВ) зрошення вона зростала до 0,24–0,30 т/га, що перевищувало значення НІР_{0,05} для

фактора В. Це свідчить про вищу чутливість сорту Галлек до поліпшення водного режиму ґрунту.

Найвищий приріст урожайності порівняно з контролем забезпечував режим зрошення 70 % НВ: для сорту ES Mentor – 1,06 т/га, для сорту Галлек – 1,14 т/га. Подальше підвищення рівня зволоження до 100 % НВ не супроводжувалося статистично достовірним зростанням урожайності, що вказує на доцільність використання помірного режиму зрошення як ресурсоощадного (*табл. 2*).

Таблиця 2

Вплив різних режимів зрошення на вологість ґрунту (середнє за 2023–2025 рр., Уманський НУ)

Варіант зрошення	Рівень зволоження, % НВ	Вологість ґрунту до поливу, %	Вологість ґрунту після поливу, %	Витрата води, м³/га
Без зрошення (контроль)	0	10–14	12–15	–
Обмежене зрошення	50	15–24	25–28	1200
Помірне зрошення	70	20–26	28–32	1800
Повне зрошення	100	22–27	30–33	2400

Примітка: НВ – найменша вологосмість; зрошення проводили при зниженні вологості орного шару до 60–65 % НВ.

Покращення водного режиму ґрунту позитивно впливало не лише на ріст і розвиток рослин сої, а й на активність симбіотичних процесів. Зрошення створювало сприятливі умови для формування бульбичкової системи та підвищення ефективності біологічної фіксації атмосферного азоту, що безпосередньо відображалось на формуванні врожайності та якості насіння (*табл. 3*).

Застосування біопрепарату Ризогумін-Плюс,

особливо в концентрації 0,75 %, забезпечувало максимальні показники маси бульбочок та біологічно фіксованого азоту в обох досліджуваних сортів, що корелювало з підвищенням урожайності за умов оптимального зрошення.

Збільшення симбіотичної активності позитивно впливало на формування білка в насінні та на підвищення загальної урожайності за умов оптимального зрошення.

Таблиця 3

Симбіотична ефективність сої залежно від технологічних прийомів на досліджуваному полі Уманського національного університету (середнє за 2023–2025 рр.)

Сорт	Обробка насіння	Концентрація ретарданту, %	Маса бульбочок, г/роsl.	Активний симбіотичний потенціал, тис. кг·дн/га	Маса біологічно фіксованого азоту, кг/га
Ментор	Без обробки	–	0,36	221	77,38
		0,5	0,42	226	77,87
	Ризогумін-Плюс	0,75	0,49	232	79,06
		1,0	0,44	229	78,23
Галлек	Без обробки	–	0,69	453	117,54
		0,5	0,76	470	119,87
	Ризогумін-Плюс	0,75	0,91	489	124,56
		1,0	0,80	476	120,70

Отже, найвищу ефективність симбіотичної діяльності бульбочкових бактерій та максимальне накопичення біологічного азоту забезпечувала обробка насіння препаратом Ризогумін-Плюс (0,75 %) за умов помірного зрошення (70–80 % НВ). Такий варіант сприяв формуванню насіння з підвищеним умістом білка, що підтверджує тісний зв'язок між водним режимом, біологічним азотним живленням і якістю насіння сої в Лісостепу України.

Отримані результати підтверджують, що оптимальний водний режим у поєднанні із стимулюванням симбіотичної фіксації азоту суттєво впливає на формування якості насіння сої в умовах Лісостепу України. Зокрема, наші дані показують, що при зрошенні на рівні 70 % НВ урожайність досягала 2,90 т/га, що практично не відрізняється від результату при 100 % НВ (3,05 т/га), але при цьому використано меншу кількість водних ресурсів. Це узгоджується з висновками Prysiazhniuk et al., (2018), де зазначено, що оптимальні агротехнічні прийоми в зоні Лісостепу суттєво підвищують продуктивність культури, зокрема завдяки кращому забезпеченню вологості ґрунту [17, 19].

Крім того, наша оцінка симбіотичної активності показала, що обробка насіння біопрепаратом Ризогумін-Плюс у концентрації 0,75 % забезпечує найвищі показники маси бульбочок і кількості фіксованого азоту (наприклад, для сорту Галлек маса бульбочок 0,91 г/росл., азоту 124,56 кг/га). Це відповідає результатам інших досліджень: у роботі Krutylo (2023) описано приріст маси вузликів на 11–86 % і збільшення фіксації азоту в 1,2–4,2 рази після інокуляції [20].

Наші дані також демонструють, що недостатня волога в ґрунті (10–14 % об'єму у варіантах без зрошення) спричиняє зменшення активності симбіозу, що підтверджується у дослідженні Mamenko (2019), у якому в умовах дефіциту води спостерігали значне гальмування утворення бульбочок та зниження фіксації азоту [21].

Якщо порівняти наші результати з дослідженнями Shevnikov et al., (2022), то зазначимо: там, при різних способах сівби, нормах висіву й агроекологічних умовах, приріст урожайності становив 15–25 % завдяки кращому азотному живленню [22]. У нашому випадку приріст урожайності за зрошеним режимом склав до +69 % порівняно з контролем, що вказує на особливу чутливість сої до водозабезпечення в зоні Лісостепу та важливість водного режиму.

Отже, поєднання помірного зрошення та біологічно орієнтованих технологій інокуляції є перспективним напрямом для формування високоякісного насіннєвого матеріалу сої в Лісостепу України. Подальші дослідження доцільно зосередити на взаємодії водного режиму, мінерального живлення та біологічної азотфіксації з метою розробки адаптивних технологій, максимально пристосованих до умов змінного клімату.

Висновки

У результаті проведених польових досліджень з'ясовано, що рівень зрошення істотно впливає на формування якісних показників насіння сої та

ефективність симбіотичної азотфіксації в умовах Лісостепу України. Оптимальним виявився режим помірного зрошення (70–80 % НВ), який забезпечував високий рівень урожайності без надмірних витрат водних ресурсів. Зрошення сприяло покращенню розвитку бульбочкових бактерій і підвищенню активного симбіотичного потенціалу рослин, що, своєю чергою позитивно впливало на накопичення біологічно фіксованого азоту. Найвищі показники спостерігали за умови обробки насіння біопрепаратом Ризогумін-Плюс у концентрації 0,75 %, що забезпечувало збільшення маси бульбочок і підвищення вмісту азоту порівняно з контролем. Виявлено, що поєднання біологічної інокуляції з помірним зрошенням є ефективною технологією підвищення якості насіння та білкової продуктивності сої. Результати дослідження підтверджують взаємозв'язок між водним режимом, біологічним азотним живленням і якістю насіння, що має важливе практичне значення для оптимізації систем вирощування сої у зоні Лісостепу України.

Конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів щодо їхнього викладу та результатів досліджень.

References

1. Zhao, J., Bindi, M., Eitzinger, J., Ferrise, R., Gaile, Z., Gobin, A., Holzkämper, A., Kersebaum, K.-C., Kozyra, J., Kriauciūnienė, Z., Loit, E., Nejedlik, P., Nendel, C., Niinemets, Ü., Palosuo, T., Peltonen-Sainio, P., Potopová, V., Ruiz-Ramos, M., Reidsma, P., Rijk, B., Trnka, M., van Ittersum, M. K., & Olesen, J. E. (2022). Priority for climate adaptation measures in European crop production systems. *European Journal of Agronomy*, 138, 126516. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126516>
2. Shcherbyna, O. Z., Tkachyk, S. O., Tymoshenko, O. O., & Shostak, N. O. (2020). (2020). Assessment of various soybean varieties [*Glycine max* (L.) Merrill.] on the stability of manifestation of economically valuable traits. *Plant Varieties Studying and Protection*, 16 (1), 90–96. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.16.1.2020.201331>
3. Bellaloui, N., Bruns, H. A., Gillen, Anne. M., Abbas, H. K., Zablutowicz, R. M., Mengistu, A., & Paris, R. L. (2010). Soybean seed protein, oil, fatty acids, and mineral composition as influenced by soybean-corn rotation. *Agricultural Sciences*, 1 (3), 102–109. <https://doi.org/10.4236/as.2010.13013>
4. Ivaniuk, S. V., Storozhuk, V. V., Kucher, D. I., Musienko, M. M., & Onoprienko, V. V. (2017). Adaptivnist ta selektsiina tsinnist sortiv soi selektsii Instytutu kormiv ta silskoho hospodarstva Podillia NAAN. *Kormy i Kormovyrobnytstvo*, 83, 10–17. [in Ukrainian]
5. Biliavska, L. H. (2018). Kolektsiini zrazky soi – tsinniy vykhidnyi material dlia selektsii. *Tavriiskiyi Naukoviyi Visnyk*, 101, 9–15. [in Ukrainian]
6. Bakhmat, O. M. (2009). *Soia – kultura maibutnoho, osoblyvosti formuvannya vysokoho vrozhaiu: monohrafiia*. Kamianets-Podilskiyi : PP Moshak M. I. [in Ukrainian]
7. Derzhavnyi reestr sortiv roslin, prydatnykh dlia poshyrennia v Ukraini. (n.d.). *Ukrainskyi instytut ekspertyzy sortiv Roslyn*. Retrieved from: <https://sops.gov.ua/ua/derzavniy-reestr> [in Ukrainian]
8. Lykhochvor, V. V., Prots, R. R., & Myhal, I. B. (2004). *Soia*. Lviv: Ukrainski tekhnolohii. [in Ukrainian]
9. Boydak, E., Alpaslan, M., Hayta, M., Gerçek, S., & Simsek, M. (2002). Seed Composition of soybeans grown in the Harran region of Turkey as affected by row spacing and irrigation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50 (16), 4718–4720. <https://doi.org/10.1021/jf0255331>

10. Kaminskiy, V. (2006). Ahrometeorologichni osnovy vyrobnytstva zerbobobovykh kultur v Ukraini. *Visnyk Ahrarnoi Nauky*, 7, 20–25. [in Ukrainian]
11. Kobak, S., Kolisnyk, S., Serevnyuk, O., & Chorna, V. (2017). Abortyvni u soi: prychny ta shliakhy vyryshennia problemy. *Propozytsiia*, 6, 90–94. [in Ukrainian]
12. Nidzelskyi, V. A., Novytska, N. V., & Shutyi, O. (2012). Spriamuvannia tekhnologichnykh zakhodiv na stabilizatsiiu vrozhaiv soi. *Naukovyi Visnyk NUBiP Ukrainy. Seriya Agronomiia*, 176, 74–78. [in Ukrainian]
13. Osypchuk, A. M., & Osypchuk, O. S. (2011). Osoblyvosti formuvannia urozhaiu soi. *Ahrobiolohiia*, 6, 45–48. [in Ukrainian]
14. Pawlewicz, A., Brodzinska, K., Zvirbule, A., & Popluga, D. (2020). Trends in the development of organic farming in Poland and Latvia compared to the EU. *Rural Sustainability Research*, 43 (338), 1–8. <https://doi.org/10.2478/plua-2020-0001>
15. Shi, X., Zhang, J., Mao, X., Wang, W., & Xie, D. (2013). Effects of soil water deficit on the physiological characteristics and dry matter accumulation of soybean seedlings. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35(2), 557–567.
16. 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>
17. Kostyukievych, T., Tolmachova, A., Kolosovska, V., & Barsukova, E. (2021). Agroecological assessment of soybean productivity in the Western Forest-Steppe of Ukraine in the face of climate changing. *Ecological Sciences*, 35 (2), 99–103. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.2-35.17>
18. Ganzha, V. V., & Ivaniv, M. O. (2021). Seed quality of soybean varieties depending on the elements of technology under drip irrigation. *Taurian Scientific Herald*, 120, 11–18. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.120.2>
19. Prysiashniuk, O. I., Hryhorenko, S. V., & Polovynchuk, O. Yu. (2018). Realization of soybean biological potential as affected by agronomical practices under the conditions of the Forest-Steppe of Ukraine. *Plant Varieties Studying and Protection*, 14 (2), 215–223. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.14.2.2018.134773>
20. Krutylo, D. (2023). Symbiotic interaction between a mixture of Bradyrhizobium japonicum strains and different soybean cultivars. *Agricultural Science and Practice*, 9 (3), 36–48. <https://doi.org/10.15407/agrisp9.03.036>
21. Mamenko, T. P. (2019). The reaction of soybean symbiotic apparatus to losses of water content in leaves and roots, induced by continuous action of drought. *Ecology and Noospherology*, 30 (1), 44–49. <https://doi.org/10.15421/031908>
22. Shevnikov, M., Milenko, O., Lotysh, I., Shevnikov, D., & Shovkova, O. (2022). The effect of cultivation conditions on the nitrogen fixation and seed yield of three Ukrainian varieties of soybean. *Scientific Horizons*, 25 (8), 17–27. [https://doi.org/10.48077/scihor.25\(8\).2022.17-27](https://doi.org/10.48077/scihor.25(8).2022.17-27)

ORCID

V. Kravchenko 

D. Akinchyts 

L. Vyshnevskaya 

A. Yatsenko 

<https://orcid.org/0000-0003-4873-5367>

<https://orcid.org/0009-0007-8994-1040>

<https://orcid.org/0000-0001-9470-9050>

<https://orcid.org/0000-0002-4755-9675>



2025 by the author(s). 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.