

АГРОНОМІЯ

УДК 631.95:631.531:631.847

Елементи технології сталого вирощування органічної сої без використання синтетичних добрив і пестицидів

Сиромятников Ю.М.¹ , Куц О.В.² , Яковлєва А.С.³ , Семенов В.В.² ,
Сиромятніков П.С.² , Куц О.А.⁴ , Семенов В.І.² 

¹ Латвійський університет природничих наук і технологій² Державний біотехнологічний університет³ BTU-Center Europe GmbH⁴ Інститут екологічних агротехнологій

E-mail: Сиромятников Ю.М. gara176@btu.kharkov.ua; Куц О.В. kutzalexandr@gmail.com;
Яковлєва А.С. aianastas@gmail.com; Семенов В.В. sementsov1984@ukr.net;
Сиромятніков П.С. Ukridu@gmail.com; Куц О.А. kutsolena17@gmail.com;
Семенов В.І. uoy7@btu.kharkov.ua



Сиромятников Ю.М., Куц О.В., Яковлєва А.С., Семенов В.В., Сиромятніков П.С., Куц О.А., Семенов В.І. Елементи технології сталого вирощування органічної сої без використання синтетичних добрив і пестицидів. «Агробіологія», 2025. № 1. С. 162–170.

Syromyatnikov Yu., Kuts O., Yakovlieva A., Sementsov V., Syromyatnikov P., Kuts O., Sementsov V. Elements of sustainable organic soybean cultivation technology without the use of synthetic fertilizers and pesticides. «Agrobiology», 2025. no. 1, pp. 162–170.

Рукопис отримано: 28.03.2025 р.

Прийнято: 14.04.2025 р.

Затверджено до друку: 22.05.2025 р.

doi: 10.33245/2310-9270-2025-195-1-162-170

У статті висвітлено результати експериментальних досліджень, спрямованих на вдосконалення технології вирощування органічної сої завдяки застосуванню біологічних препаратів, зокрема інокулянта RIZOLINE-г (штами *Bradyrhizobium japonicum*) та біостимулятора KALNINI. Метою роботи було визначення впливу зазначених біологічних прийомів на морфогенез, симбіотичну ефективність, фотосинтетичний потенціал та біохімічні параметри зерна сої. Дослідження проводили у 2024–2025 рр. в умовах контрольованого середовища теплиці на базі Інституту AgriHortS Латвійського університету природничих наук і технологій. Вивчали три сорти сої (Laulema, Paradi, Tigan), дві схеми інокуляції (контроль та обробка препаратом RIZOLINE-г у нормі 3 л/т) та три варіанти позакореневого внесення KALNINI (без обробки, у фазу V3, у фазу R2). Облік включав оцінку морфометричних показників, симбіотичної активності (кількість, маса та колір бульбочок), фотосинтетичного потенціалу (SPAD-індекс), урожайності та вмісту білка й жиру в зерні. Результати показали, що використання інокулянта RIZOLINE-г окремо забезпечувало збільшення кількості бульбочок на 48,9 %, SPAD-індексу – на 16,6 %, урожайності – на 22,4 %, а вмісту білка – на 1,2 % у порівнянні з контролем. Позакореневе обприскування KALNINI сприяло підвищенню цих показників на 28,9; 10,2; 13,3 та 0,9 % відповідно. Максимальні значення досягнуто за комбінованого використання обох препаратів: приріст бульбочок +64,4 %, SPAD +25,8 %, урожайність +35,7 %, білка +1,9 %, жиру +0,8 %. Встановлено тісний позитивний кореляційний зв'язок між фотосинтетичним індексом SPAD та урожайністю ($r = 0,86$), масою бульбочок і вмістом білка ($r = 0,74$), SPAD і вмістом жиру ($r = 0,97$). Це дозволяє рекомендувати поєднане використання RIZOLINE-г і KALNINI як ефективний елемент технології вирощування сої в умовах органічного землеробства для стимуляції симбіозу, активізації фотосинтезу та покращення якісних показників урожаю.

Ключові слова: органічне землеробство, соя, інокуляція, біостимулятори, симбіоз, фотосинтез, урожайність, біохімічний склад.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Забезпечення стабільної продуктивності сої (*Glycine max* L.) в умовах органічного землеробства є одним із пріоритетних напрямів сучасних агробіотехнологічних досліджень. Це обумовлено низкою чинників, зокрема екологічними обмеженнями щодо застосування синтетичних агрохімікатів, потребою у відновленні родючості ґрунтів і необхідністю підвищення ефективності біологічних процесів, таких як симбіотична азотфіксація. У цьому контексті особливу увагу приділяють використанню біологічних препаратів – інокулянтів на основі *Bradyrhizobium japonicum* та біостимуляторів природного походження, які демонструють високу ефективність у підвищенні симбіотичної активності, фотосинтетичної продуктивності та якісних показників урожаю [1, 2].

Передпосівна інокуляція насіння сої мікробними штамами *B. japonicum* активізує формування бульбочкових структур, інтенсифікує процеси біологічної фіксації азоту (BNF) та сприяє зростанню вмісту сирого білка в насінні [3, 4]. Це пов'язано з підвищенням маси та кількості бульбочок, які є основними фізіологічними індикаторами симбіотичної активності. Біологічні інокулянти також покращують доступність макро- та мікроелементів, особливо фосфору та заліза, через стимуляцію активності фосфатаз і хелатування [5, 6]. Водночас позакореневе внесення біостимуляторів – амінокислотних комплексів, екстрактів морських водоростей (*Ascophyllum nodosum*), фульвових кислот – приводить до посилення фотосинтетичної активності, зростання листової поверхні, збільшення вмісту хлорофілу та активації антиоксидантної системи рослин [7, 8].

Наукові дослідження також засвідчують наявність тісного кореляційного зв'язку між рівнем фотосинтетичних пігментів (хлорофіл а, хлорофіл b, каротиноїди) та показниками урожайності, зокрема масою 1000 насінин, вмістом білка та олії в зерні [9, 10]. Це відкриває можливість використання непрямих методів оцінювання якості врожаю на ранніх етапах вегетації. Значну роль у цих процесах відіграє мікробіота ризосфери, яка забезпечує конкурентоспроможність симбіотичних штамів, покращує біодоступність поживних речовин і модуляторно впливає на стійкість рослин до абіотичних стресів [11, 12].

Інтегроване застосування інокулянтів і біостимуляторів розглядається як перспективна біоадаптивна технологія. Синергічна дія мікроорганізмів і біоактивних речовин

дозволяє досягти кращого розвитку кореневої системи, підвищити фотосинтетичну ефективність та врожайність у порівнянні з моно-технологіями [13, 14]. Наприклад, подвійна інокуляція із застосуванням арбускулярних мікоризних грибів (*Rhizophagus irregularis*) та *B. japonicum* сприяє покращенню доступу до фосфору, стимулює біомасу і вміст макроелементів у тканинах рослин [15, 16].

Однак, незважаючи на численні позитивні результати, досі залишаються невирішеними питання, пов'язані з оптимальними фазами обробки, сортовими особливостями реакції сої на різні штами бактерій і склад біостимуляторів, а також з довготривалим впливом біопрепаратів на агроєкосистему [17, 18]. Крім того, потребує подальшого вивчення генетична регуляція відповіді рослин на обробку – за даними молекулярних досліджень, біостимулятори активують експресію генів, пов'язаних із метаболізмом азоту, синтезом амінокислот та антиоксидантними шляхами [19, 20].

Отже, удосконалення технологій вирощування сої в органічному землеробстві за комплексного застосування біологічних інокулянтів та біостимуляторів становить науково обґрунтовану і перспективну стратегію, що здатна забезпечити екологічну стійкість, продуктивність і якість продукції.

Мета дослідження – встановлення ефективності інокуляції насіння сої препаратом RIZOLINE-г та позакореневих обробок біостимулятором KALNINI щодо впливу на морфогенез, симбіотичну активність, фотосинтетичний потенціал і якісні характеристики зерна сої (вміст білка й жиру) в умовах органічного вирощування, з урахуванням сортових особливостей та фаз застосування препаратів.

Матеріал і методи дослідження. Дослідження проводили у 2024–2025 рр. на базі Інституту досліджень у галузі захисту рослин “AgriHortS” Латвійського університету природничих наук і технологій, який спеціалізується на фундаментальних і прикладних дослідженнях у сфері сталих технологій захисту рослин в умовах органічного та інтегрованого землеробства. Інститут зосереджує наукову діяльність на вивченні корисних організмів, розробці біологічних методів контролю шкідливих об'єктів та адаптації сучасних агротехнологій до умов Латвії. Метою дослідження було визначення впливу інокуляції насіння сої та позакореневих обробок біостимулятором росту на морфогенез, симбіотичну активність, фотосинтетичну продуктивність і біохімічний склад зерна в умовах органічного вирощування.

Вегетаційний дослід проводили у контейнерах об'ємом 10 літрів, наповнених сертифікованим органічним субстратом «Senelio» (рис. 1).

Схему експерименту розроблено як трифакторний дослід у трикратній повторності, що дозволяє оцінити як окрему, так і комбіновану дію агроприймів. Насіння висівали на глибину 3–5 см за температури ґрунту 12–14 °С. Перед сівбою його обробляли біофунгіцидом РНУТОНЕЛР у нормі 1,0–1,5 л/т,



Рис. 1. Вегетаційний дослід із вирощування органічної сої в контрольованих умовах теплиці AgriHortS (Latvia University of Life Sciences and Technologies).

після чого проводили інокуляцію препаратом RIZOLINE-г (3 л/т), до складу якого входять ефективні штами *Bradyrhizobium japonicum*. Позакореневі обробки виконували біостимулятором KALNINI (1% водний розчин) у відповідні фази вегетації – третій трійчастий листок (V3) та повне цвітіння (R2), згідно зі шкалою BBCH.

Упродовж вегетації проводили реєстрацію фенологічних фаз розвитку за шкалою BBCH, вимірювали висоту рослин, площу листової поверхні, кількість і масу бульбочок, масу сирі та сухої надземної біомаси. Для оцінки фотосинтетичної активності використовували хлорофілометр, що дозволяло визначити вміст хлорофілу в одиницях SPAD та розраховувати фотосинтетичний потенціал. Оцінка симбіотичної ефективності включала визначення інтенсивності формування бульбочок, візуальну оцінку їхнього кольору, а також визначення коефіцієнта симбіотичної активності з урахуванням маси фіксованого азоту. Біохімічний аналіз зерна передбачав визначення вмісту сирого протеїну за методом К'ельдаля, жиру – методом Сокслета, а також сухої речовини за допомогою висушування до сталої маси за температури 105 °С. Усі аналізи проводили згідно з офіційними протоколами лабораторії якості сільськогосподарської продукції.

Отримані результати обробляли методами дисперсійного та кореляційно-регресійного аналізу за допомогою програмного забезпечення Microsoft Excel, Statistica 12.0 та SigmaPlot. Для визначення вірогідності впливу досліджуваних факторів використовували критерій Ст'юдента, за рівня значущості $p \leq 0,05$. Побудова діаграм розсіювання, регресійних моделей та статистичне зіставлення середніх значень дозволили кількісно оцінити ефективність кожного варіанта досліду, що стало основою для формулювання висновків і науково обґрунтованих рекомендацій для органічного виробництва сої в умовах Латвії.

Таблиця 1 – Схема факторного експерименту з вирощування органічної сої

Фактор	Рівні	Опис
A	1, 2, 3	Сорти сої: <i>Laulema</i> , <i>Paradi</i> , <i>Tiguan</i>
B	1 – без інокуляції 2 – RIZOLINE-г (3 л/т)	Інокуляція насіння біопрепаратом
C	1 – без обробки 2 – у фазу V3 3 – у фазу R2	Позакореневі обробки біостимулятором KALNINI (1 %)

Результати дослідження та обговорення. Наведені у таблиці 2 дані свідчать, що найнижчі показники симбіотичної активності, фотосинтетичного потенціалу та врожайності спостерігались у контрольному варіанті без застосування біопрепаратів. Кількість бульбочок у цьому варіанті становила 45 шт./рослину, а маса бульбочок – 320 мг/рослину. Вміст хлорофілу за індексом SPAD був на рівні 39,2, урожайність становила лише 2,41 т/га за вмісту білка 36,1 % і жиру 18,4 %.

Застосування лише інокуляції препаратом RIZOLINE-г сприяло зростанню кількості бульбочок на 48,9 %, а їх маси – на 46,9 % порівняно з контролем. SPAD-значення зросло до 45,7 (+16,6 %), урожайність – до 2,95 т/га (+22,4 %), вміст білка – до 37,3 % (+1,2 відсоткового пункту), а жиру – до 18,9 %.

У варіанті лише з позакореневим обприскуванням KALNINI (без інокуляції) також відмічено позитивну динаміку: приріст бульбочок становив 28,9 %, урожайності – +13,3 %, вмісту білка – +0,9 %, жиру – +0,3 % порівняно з контролем. При цьому SPAD-показник підвищився до 43,2 одиниць.

Найвищі значення всіх показників зафіксовано у варіанті з комбінованим застосуванням RIZOLINE-г + KALNINI. Кількість бульбочок зросла до 74 шт./рослину (+64,4 % відносно контролю), маса – до 516 мг (+61,3 %), SPAD – до 49,3 (+25,8 %). Урожайність у цьому варіанті становила 3,27 т/га, що на 35,7 % перевищувало контрольний варіант. Вміст білка сягав 38,0 %, жиру – 19,2 %, що відповідно на 1,9 і 0,8 % більше, ніж у контролі.

Відповідно до значень $LSD_{0,05}$ усі відмінності між дослідними варіантами та контролем є статистично достовірними: критичне значення для урожайності становило 0,18 т/га, для вмісту білка – 0,6 %, для SPAD – 2,1 одиниці. Це підтверджує ефективність застосування біологічних препаратів як окремо, так і в комбінації для стимуляції ростових процесів, формування ефективного симбіозу та підвищення продуктивності сої в умовах органічного землеробства.

Рисунок 2 відображає результати узгальненого дисперсійного та кореляційно-регресійного аналізу, проведеного за результатами польового експерименту, спрямованого на оцінку впливу інокуляції препаратом RIZOLINE-г (біологічний інокулянт на основі *Bradyrhizobium japonicum*) та позакореневих обробок біостимулятором KALNINI (1 % водний розчин) на фізіолого-біохімічні показники й урожайність сої

сорту *Tiguan* в умовах органічного вирощування.

Графік 1 «Варіація врожайності» відображає результати дисперсійного аналізу (ANOVA), що дозволяє кількісно оцінити варіацію урожайності залежно від комбінацій факторів. Побудована стовпчаста діаграма ілюструє середні значення врожайності (т/га) в чотирьох варіантах досліді: Контроль (без обробки), RIZOLINE-г (інокуляція), KALNINI (двократне позакореневе обприскування у фазах V3 і R2) та комбінація RIZOLINE-г + KALNINI. Урожайність у контрольному варіанті становила 2,41 т/га, у варіантах з обробкою лише RIZOLINE-г – 2,95 т/га (+22,4 %), лише KALNINI – 2,73 т/га (+13,3 %), а за їх поєднання – 3,27 т/га (+35,7 % до контролю). Критичне значення $LSD_{0,05} = 0,18$ т/га підтверджує достовірність виявлених відмінностей. Ці результати свідчать, що найбільший внесок у дисперсію урожайності забезпечує фактор інокуляції ($\eta^2 = 34$ %), що відображає ключове значення симбіотичного азоту в органічному землеробстві.

Графік 2 «SPAD-хлорофіл ~ Урожайність» є результатом кореляційно-регресійного аналізу взаємозв'язку між вмістом хлорофілу в листках (визначено за SPAD-індексом) та урожайністю. На графіку представлено точки дослідних варіантів, лінію регресії та довірчий інтервал 95 %. Зростання SPAD-значень від 39,2 (контроль) до 49,3 (RIZOLINE-г + KALNINI) супроводжувалося збільшенням урожайності з 2,41 до 3,27 т/га, що підтверджує тісний позитивний зв'язок ($r = 0,86$). Це свідчить про вплив біостимулятора KALNINI на фотосинтетичну активність, що, своєю чергою, є визначальним фактором продуктивності у системах без добрив.

Графік 3 «Маса бульбочок ~ Білок» ілюструє зв'язок між симбіотичною активністю (за масою бульбочок на рослину, мг) та якісними характеристиками продукції (вміст сирого білка, %). Застосування RIZOLINE-г збільшувало масу бульбочок із 320 до 516 мг/роsl. (+61,3 %), що супроводжувалося підвищенням білка з 36,1 до 38,0 %. Коефіцієнт кореляції $r = 0,74$ вказує на високий ступінь залежності вмісту білка від ефективності біологічної фіксації азоту. Така регресійна модель є корисною для прогнозування якісних параметрів зерна в органічному виробництві.

Графік 4 «Кількість бульбочок ~ Урожайність» показує пряму лінійну залежність між кількістю бульбочок (шт./роsl.) та врожайністю. Кількість бульбочок збільшувалася

з 45 шт./роsl. (контроль) до 74 шт./роsl. (RIZOLINE-г + KALNINI), відповідно урожайність зростала з 2,41 до 3,27 т/га (+64,4 % бульбочок, +35,7 % урожайності). Коефіцієнт кореляції $r = 0,79$ свідчить про сильний функціональний взаємозв'язок, що підтверджує ефективність інокуляції в умовах органічного вирощування.

Отже, проведений дисперсійний та кореляційно-регресійний аналіз експеримен-

тальних даних дозволив встановити не лише наявність достовірних ефектів від агроприйомів, а також кількісні залежності між фізіологічними та продуктивними показниками. Комбіноване застосування RIZOLINE-г та KALNINI забезпечує активізацію фотосинтезу, стимулює бульбочкоутворення, підвищує ефективність симбіозу, а відтак – збільшує урожайність та якість зерна сої в органічному землеробстві.

Таблиця 2 – Вплив застосування RIZOLINE-г і KALNINI на показники симбіотичної активності та продуктивності сої (середні значення)

Варіант	Кількість бульбочок, шт./роsl.	Маса бульбочок, мг/роsl.	SPAD-хлорофіл	Урожайність, т/га	Білок, %	Жир, %
Контроль	45	320	39,2	2,41	36,1	18,4
RIZOLINE-г	67	470	45,7	2,95	37,3	18,9
KALNINI	58	410	43,2	2,73	37,0	18,7
RIZOLINE-г + KALNINI	74	516	49,3	3,27	38,0	19,2
НІР _{0,05}	9	42	2,1	0,18	0,6	0,3

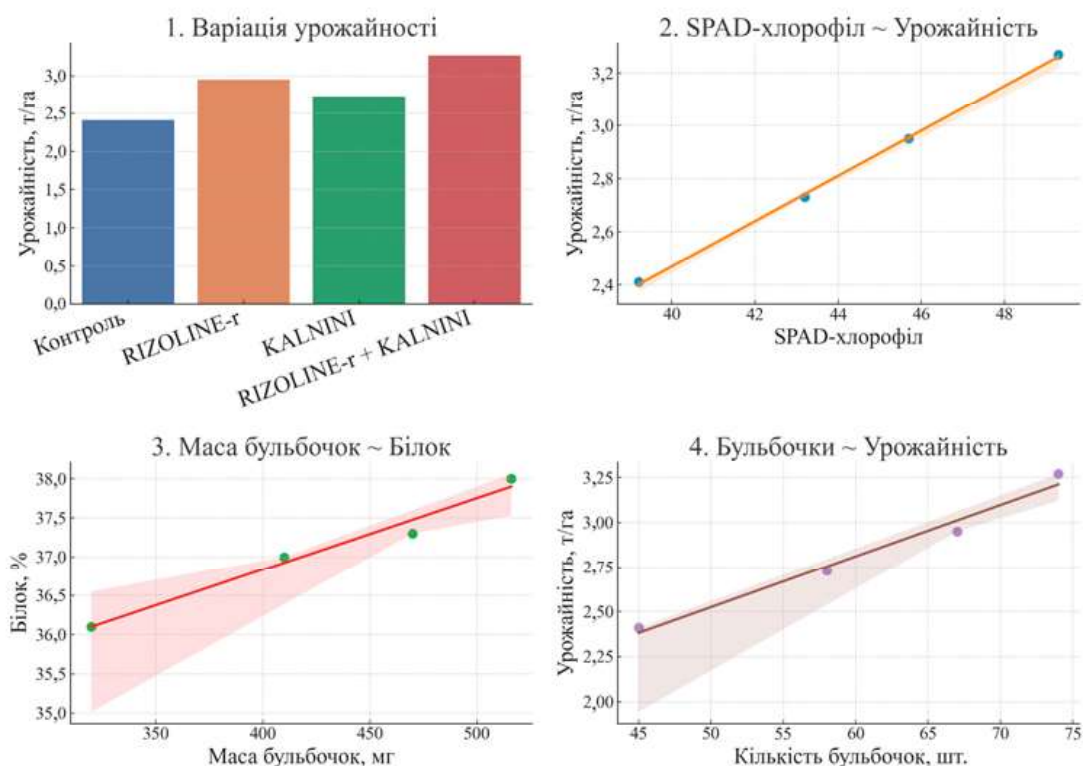


Рис. 2. Візуалізація дисперсійного та кореляційно-регресійного аналізу дослідних варіантів вирощування органічної сої з використанням препаратів RIZOLINE-г та KALNINI.

Аналіз отриманих даних (рис. 3) підтвердив статистично достовірні позитивні кореляційні залежності між біохімічними показниками зерна сої (вміст білка і жиру) та фотосинтетичною активністю, оціненою за індексом SPAD.

На першому графіку встановлено, що зі зростанням вмісту сирого білка від 36,1 до 38,0 % урожайність зростала від 2,41 до 3,27 т/га. Приріст урожайності становив +35,7 %, водночас коефіцієнт кореляції між білком і врожайністю становив $r = 0,95$, що свідчить про дуже сильний зв'язок. Це вказує на те, що більш продуктивні рослини мають кращий амінокислотний обмін та білковий синтез.

Другий графік відображає залежність між вмістом білка і жиру: зі збільшенням білка з 36,1 до 38,0 %, вміст жиру зростав з 18,4 до 19,2 %, тобто на +0,8 в.п. або 4,3 %. Кореляція між цими показниками була $r = 0,89$, що свідчить про взаємозв'язане формування біохімічних складових зерна під впливом біологічних обробок.

На третьому графіку зафіксовано позитивний зв'язок між SPAD-індексом (хлорофіл) і вмістом білка в насінні ($r = 0,93$). Зі зростанням фотосинтетичного потенціалу від 39,2 до 49,3 одиниць SPAD, вміст білка зростав на 1,9 в.п. (відносно +5,3 %), що по-

яснюється покращеним азотним живленням через симбіотичну фіксацію азоту та активацію фотосинтезу.

Четвертий графік підтверджує високий рівень кореляції між SPAD-індексом і вмістом жиру ($r = 0,97$). Із зростанням SPAD з 39,2 до 49,3, вміст жиру збільшився на 0,8 %, це демонструє що фотосинтетична активність є не лише індикатором ростових процесів, а також чинником, який впливає на нагромадження енергетичних сполук, зокрема жирів.

Отже, встановлені зв'язки підтверджують, що підвищення фотосинтетичної активності рослин сої тісно пов'язане з покращенням якісного складу зерна, зокрема білка і жиру, що має практичне значення для органічного виробництва з високими харчовими та кормовими характеристиками.

Отримані результати експерименту свідчать про високу ефективність застосування біологічних препаратів RIZOLINE-г та KALNINI в умовах органічного землеробства. Статистично достовірне підвищення симбіотичної активності, фотосинтетичної продуктивності та урожайності сої зафіксовано як за окремого використання інокулянта або біостимулятора, так і за їх поєднання, що узгоджується з даними сучасних досліджень [1, 4, 8, 10].

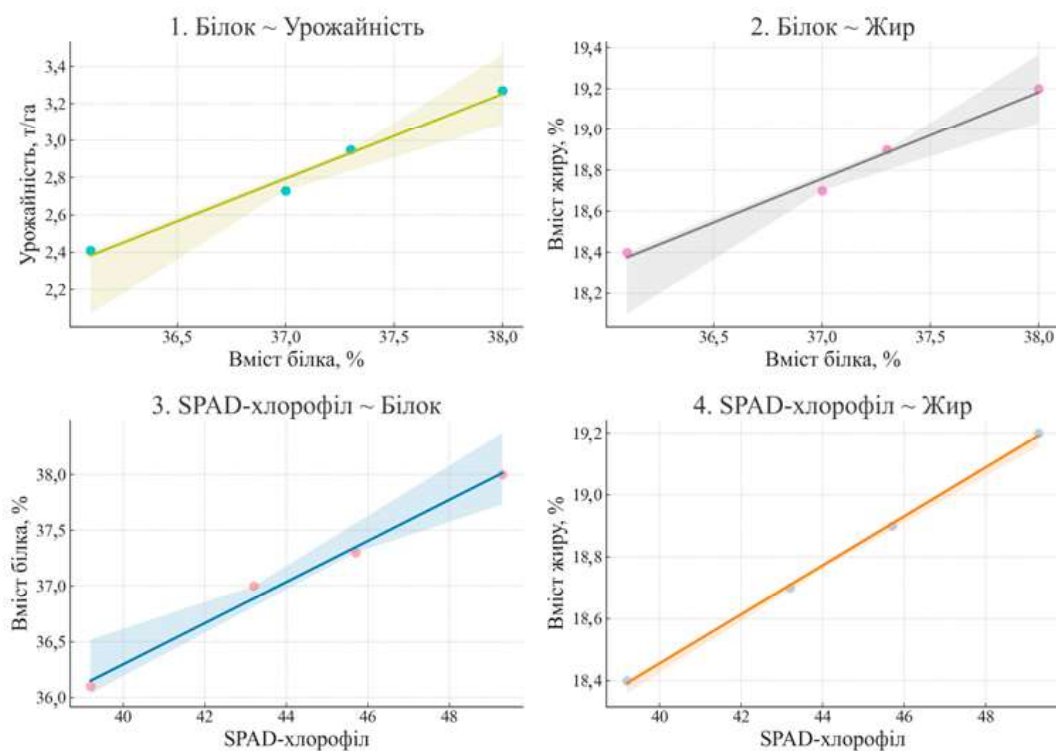


Рис. 3. Взаємозв'язки між біохімічними показниками сої та фотосинтетичною активністю.

Різке зростання кількості бульбочок (+64,4 %) та їх маси (+61,3 %) у варіанті з комбінацією препаратів підтверджує стимулювальну дію *Bradyrhizobium japonicum* на формування симбіозу, що також визначено у роботах [2, 5, 11]. Такий ефект, ймовірно, обумовлений поліпшенням умов азотного живлення, а також посиленням метаболічної активності під впливом регуляторів росту [3, 12]. Аналогічно, збільшення індексу SPAD свідчить про покращення фотосинтетичного потенціалу та функціонального стану листового апарату, що є ключовим чинником у біомасоутворенні [6, 9, 15].

Виявлені тісні кореляційні залежності між фотосинтетичною активністю та вмістом білка ($r = 0,93$), жиру ($r = 0,97$), а також між урожайністю і біохімічними показниками, збігаються з результатами, отриманими іншими авторами [13, 16, 17], які підтверджують, що SPAD-індекс є надійним індикатором загального фізіологічного стану рослин. Це дозволяє рекомендувати його як прогностичний критерій в оцінці ефективності агротехнічних прийомів у системі органічного виробництва.

Суттєве зростання урожайності (до 3,27 т/га, +35,7 % до контролю) під впливом комбінації RIZOLINE-г і KALNINI підтверджує гіпотезу про синергічну дію інокулянта та біостимулятора, що підтримується сучасними публікаціями щодо комбінованого використання PGPR-препаратів і фітогормонів у біологічних системах живлення [7, 14, 18]. Це особливо важливо з огляду на заборону синтетичних агрохімікатів у органічному виробництві, що обмежує можливості інтенсифікації через традиційні підходи [19, 20].

Ураховуючи встановлені регресійні моделі та кореляції, можна стверджувати, що поєднане застосування інокуляції та позакореневого обприскування забезпечує не лише підвищення врожайності, а також покращення якісного складу зерна, що має особливе значення для виробництва високоякісної харчової та кормової сої.

Висновки. 1. Проведене дослідження підтвердило високу ефективність біологічних препаратів RIZOLINE-г (інокулянт на основі *Bradyrhizobium japonicum*) та KALNINI (біостимулятор природного походження) для органічного вирощування сої. Їх окреме та комбіноване застосування забезпечувало достовірне підвищення показників симбіотичної активності, фотосинтетичного потенціалу, урожайності та якості зерна.

2. Найвищі показники зафіксовано у варіанті з комбінованим застосуванням препаратів: кількість бульбочок – 74 шт./рослину (+64,4 % до контролю), маса – 516 мг (+61,3 %), SPAD-індекс – 49,3 одиниці (+25,8 %), урожайність – 3,27 т/га (+35,7 %), вміст білка – 38,0 % (+1,9 в.п.), жиру – 19,2 % (+0,8 в.п.).

3. Виявлено сильні кореляційні зв'язки між агрофізіологічними та біохімічними показниками: між SPAD-індексом і урожайністю ($r = 0,86$), масою бульбочок і вмістом білка ($r = 0,74$), SPAD-індексом і вмістом жиру ($r = 0,97$), що свідчить про комплексний вплив біологічної дії препаратів на обмінні процеси в рослині.

4. Доведено, що поєднання інокуляції та позакореневого підживлення дозволяє посилити ефект кожного агроприйому, підвищуючи ефективність азотфіксації, фотосинтезу та метаболізму з утворенням продукції з покращеними якісними параметрами.

5. Результати дослідження можуть бути рекомендовані до впровадження у технології органічного землеробства як науково обґрунтовані агроприйоми для підвищення продуктивності та якості сої без застосування синтетичних добрив і пестицидів, з урахуванням сортової специфіки й фаз вегетації.

Подяки. Дослідження виконано в межах реалізації проекту № 5.2.1.1.i.0/2/24/I/CFLA/002 «Зміцнення інституційної спроможності Латвійського університету природничих наук і технологій для забезпечення досконалості у навчанні та дослідженнях» згідно з договором № 3.2.-10/197. Автори висловлюють щирі подяки співробітникам Інституту досліджень у галузі захисту рослин “AgriHortS” за надану дослідну базу, технічну підтримку та методичну допомогу під час проведення вегетаційного експерименту, а також фахівцям лабораторії біохімічного аналізу за кваліфіковану участь у визначенні показників якості зерна.

LIST OF REFERENCES

1. Gitonga N.M., Njeru E.M., Cheruiyot R., Maingi J. *Bradyrhizobium* inoculation has a greater effect on soybean growth, production and yield quality in organic than conventional farming systems. *Cogent Food & Agriculture*. 2021. No 7. 1 p. DOI: 10.1080/23311932.2021.1935529
2. Joshi N., Parewa H.P., Sharma J. Use of microbial biostimulants in organic farming. *Advances in Organic Farming*. 2021. No 5. P. 59–73. DOI: 10.1016/b978-0-12-822358-1.00011-0

3. Sankhala J., Waktaliya A., Raghuvanshi R. Harnessing Biostimulants to Mitigate Abiotic Stress in Soybean Production: An Overview. *Journal of Scientific Research and Reports*. 2024. No 30. P. 53–65. DOI: 10.9734/jsrr/2024/v30i122650
4. Melo G.B., Silva, A.G.D., Perin A. Agonomic Performance of Soybean With Seeds Treated With an Algae Extract Base Biostimulant. *Journal of Agricultural Science*. 2020. No 13(1). P. 147–157. DOI: 10.5539/jas.v13n1p147
5. Avornyo V.K., Manu A., Adu-Gyamfi R. Response of Soybean to PS-Foundation 1-0-1 Biostimulant, Triple Super Phosphate, and Rhizobium Inoculant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2020. No 51. P. 985–996. DOI: 10.1080/00103624.2020.1744627
6. Briglia N., Petrozza A., Hoeberichts F. Investigating the Impact of Biostimulants on the Row Crops Corn and Soybean Using High-Efficiency Phenotyping and Next Generation Sequencing. *Agronomy*. 2019. No 9(11). 761 p. DOI: 10.3390/agronomy9110761
7. Suárez H.J., Zuaznabar R., González M.N. Evaluation of two biostimulants in soybean production. *MOJ Biology and Medicine*. 2023. No 8(1). P. 1–3. DOI: 10.15406/mojbm.2023.08.00174
8. Dzhumanazarova A., Stozhko N., Dzhorupbekova D. Biological preparations from crop waste for organic farming. *E3S Web of Conferences*. 2024. No 537. 10010 p. DOI: 10.1051/e3sconf/202453710010
9. Silva J.H.B., Da Silva A.V., Da Silva C.M. Soybean response (*Glycine max* L.) under the use of biostimulants: A literature review. *Scientific Electronic Archives*. 2023. No 16(10). P. 8–13. DOI: 10.36560/161020231798
10. Suci L., Tărău A., Urdă C. The influence of bacterial inoculants on pathogens, yield and quality in soybean crop. *AgroLife Scientific Journal*. 2021. No 10(2). P. 221–226. DOI: 10.17930/agl2021125
11. Rymuza K., Radzka E., Cała J. The Effect of Applied Biostimulants on the Yielding of Three Non-Genetically Modified Soybean Cultivars. *Agriculture*. 2023. No 13(4). 900 p. DOI: 10.3390/agriculture13040900
12. Vishwanatha S., Shwetha B., Koppalkar B. Response of Blackgram (*Vigna mungo* L.) and Soybean (*Glycine max* L.) to Novel Bio Stimulants in North Eastern Dry Zone of Karnataka. *Legume Research – An International Journal*. 2022. No 45(1). P. 1439–1535. DOI: 10.18805/lr-4858
13. Pal G., Kumar K., Verma A., Verma S. Application of bacterial biostimulants in promoting growth and disease prevention in crop plants. *Biostimulants for Crops from Seed Germination to Plant Development*. 2021. No 17. P. 393–410. DOI: 10.1016/b978-0-12-823048-0.00003-4
14. Sani M.N.H., Yong J. Harnessing Synergistic Biostimulatory Processes: A Plausible Approach for Enhanced Crop Growth and Resilience in Organic Farming. *Biology*. 2021. No 11. 41 p. DOI: 10.3390/biology11010041
15. Gitonga N.M., Koskey G., Njeru E.M. Dual inoculation of soybean with *Rhizophagus irregularis* and commercial *Bradyrhizobium japonicum* increases nitrogen fixation and growth in organic and conventional soils. *AIMS Agriculture and Food*. 2021. No 6(2). P. 478–495. DOI: 10.3934/AGR-FOOD.2021028
16. Rosa V.R., Santos A.L.F., Silva A.A. Increased soybean tolerance to water deficiency through biostimulant based on fulvic acids and *Ascophyllum nodosum* (L.) seaweed extract. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2020. No 155. P. 170–181. DOI: 10.1016/j.plaphy.2020.11.008
17. Rymuza K., Radzka E., Cała J. The Effect of Applied Biostimulants on the Yielding of Three Non-Genetically Modified Soybean Cultivars. *Agriculture*. 2023. No 13(4). 900 p. DOI: 10.3390/agriculture13040900
18. Dzhumanazarova A., Stozhko N., Dzhorupbekova D. Biological preparations from crop waste for organic farming. *E3S Web of Conferences*. 2024. No 537. 10010 p. DOI: 10.1051/e3sconf/202453710010
19. Sankhala J., Waktaliya A., Raghuvanshi R. Harnessing Biostimulants to Mitigate Abiotic Stress in Soybean Production: An Overview. *Journal of Scientific Research and Reports*. 2024. No 30. P. 53–65. DOI: 10.9734/jsrr/2024/v30i122650
20. Avornyo V.K., Manu A., Adu-Gyamfi R. Response of Soybean (*Glycine max* (L.) Merr) to PS-Foundation 1-0-1 Biostimulant, Triple Super Phosphate, and Rhizobium Inoculant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2020. No 51. P. 985–996. DOI: 10.1080/00103624.2020.1744627

Elements of sustainable organic soybean cultivation technology without the use of synthetic fertilizers and pesticides

Syromyatnikov Yu., Kuts O., Yakovlieva A., Sementsov V., Syromyatnikov P., Kuts O., Sementsov V.

The article presents the results of an experimental studies aimed at improving the technology of organic soybean cultivation through the application of biological preparations, namely the inoculant «RIZOLINE-r» (based on *Bradyrhizobium japonicum* strains) and plant biostimulant «KALNINI». The aim of the study was to determine the effect of biological techniques on the morphogenesis, symbiotic efficiency, photosynthetic potential and biochemical parameters of soybean grain. The studies were conducted in 2024–2025 in controlled greenhouse conditions at the AgriHortS Institute of Latvia University of Life Sciences and Technologies. The study involved three soybean varieties («Laulema», «Paradi», «Tiguan»), two inoculation schemes (control and treatment with «RIZOLINE-r» at a rate of 3 l/t) and three variants of foliar application of «KALNINI» (no treatment in phase V3, in phase R2). The survey included assessment of morphometric parameters, symbiotic activity (number,

weight and colour of tubers), photosynthetic potential (SPAD index), yield and protein and fat content in grain. The findings showed that the separate use of «RIZOLINE-r» increased nodule number by 48.9 %, SPAD- value – by 16.6 %, yield – by 22.4 %, and protein content – by 1.2 % compared to the control. Foliar application of «KALNINI» contributed to the increase of these indicators by 28.9; 10.2; 13.3 and 0.9 % respectively. The maximum values were achieved with the combined use of both preparations: tuber growth +64.4 %, SPAD +25.8 %, yield +35.7 %, protein +1.9 %, fat +0.8 % compared to

the untreated control. A close positive correlation was established between the photosynthetic SPAD index and yield ($r = 0.86$), bubble and protein mass ($r = 0.74$), SPAD and fat content ($r = 0.97$). This allows us to recommend the combined use of «RIZOLINE-r» and «KALNINI» as an effective element of soybean cultivation technology under organic farming conditions to stimulate symbiosis, activate photosynthesis and improve the quality indicators of the crop.

Key words: organic farming, soybean, inoculation, biostimulant, symbiosis, photosynthesis, yield, biochemical composition.



Copyright: Сиромятников Ю.М. та ін. © This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.



ORCID iD:

Сиромятников Ю.М.

<https://orcid.org/0000-0001-9502-626X>

Куц О.В.

<https://orcid.org/0000-0003-2053-8142>

Яковлева А.С.

<https://orcid.org/0009-0002-7229-1786>

Семенцов В.В.

<https://orcid.org/0000-0001-7088-4436>

Сиромятніков П.С.

<https://orcid.org/0000-0002-4960-7327>

Куц О.А.

<https://orcid.org/0009-0004-8995-750X>

Семенцов В.І.

<https://orcid.org/0000-0001-6951-363>