

АГРОНОМІЯ

УДК 631.461.5:631.53.02:633.34

Вплив передпосівної обробки насіння сої біопрепаратами на вміст фотосинтетичних пігментів і врожайність за умов нестійкого зволоження й органічного землеробства**Чайка Т.О.¹ , Короткова І.В.² **¹ Полтавське відділення Академії наук технологічної кібернетики України² Полтавський державний аграрний університет

✉ Чайка Т.О. E-mail: chaika_ta@ukr.net



Чайка Т.О., Короткова І.В. Вплив передпосівної обробки насіння сої біопрепаратами на вміст фотосинтетичних пігментів і врожайність за умов нестійкого зволоження й органічного землеробства. «Агробіологія», 2025. № 1. С. 188–198.

Chaika T., Korotkova I. Effect of pre-sowing treatment of soybean seeds with biopreparations on the content of photosynthetic pigments and yield under unstable moisture conditions and organic farming. «Agrobiology», 2025. no. 1, pp. 188–198.

Рукопис отримано: 20.02.2025 р.

Прийнято: 07.03.2025 р.

Затверджено до друку: 22.05.2025 р.

doi: 10.33245/2310-9270-2025-195-1-188-198

Світове виробництво сої постійно зростає, оскільки вона є однією з найбільш затребуваних культур на світовому продовольчому ринку. Водночас, кліматичні зміни, що проявляються через підвищення температури та дефіцит опадів у період вегетації культури, мають істотний вплив на її врожайність. Це зумовлює необхідність запровадження нових технологічних рішень, що забезпечать раціональність використання виробничих ресурсів і безпечність кінцевої продукції. Одним із таких перспективних методів є передпосівна обробка насіння сої біопрепаратами, які сприяють підвищенню стійкості рослин до стресових чинників, обумовлюють отримання потенційної врожайності за високої якості.

Метою роботи є визначення впливу передпосівної інокуляції й обробки фітогормональним препаратом насіння сої у системі органічного землеробства на вміст фотосинтетичних пігментів і врожайність у критичних кліматичних умовах.

У польових дослідах, проведених у 2022–2024 рр. в умовах Полтавської області, було досліджено вплив передпосівної обробки насіння сої сорту Хорол інокулянтном Legume Fix і фітогормональним препаратом Віолар на площу листової поверхні, вміст фотосинтетичних пігментів і врожайність за різних погодних умов з використанням системи органічного землеробства.

Результати показали, що передпосівна обробка насіння сої сприяла збільшенню площі листової поверхні в середньому на 13,4 % за використання Legume Fix та на 19,3 % у разі застосування Віолар. Встановлено, що обробка Віолар привела до зростання концентрації Chl *a*, Chl *b* і Chl (*a+b*) порівняно з контролем в середньому на 18,9; 13,3 і 17,2 % відповідно, тимчасом інокуляція Legume Fix підвищувала ці показники в середньому на 7,4; 3,4 і 6,2 %.

Також визначено, що передпосівна обробка насіння сої Legume Fix і Віолар забезпечила підвищення врожайності порівняно з контрольними рослинами в середньому на 13,2 і 20,6 % відповідно. Розраховано сильний прямиий зв'язок між площею листової поверхні, вмістом Chl (*a+b*) та рівнем врожайності на всіх варіантах досліджень відповідно – контролю (0,990; 0,986), Legume Fix (0,996; 0,983) та Віолар (0,986; 0,988).

Ключові слова: *Glycine max* L. Merr., органічне землеробство, інокуляція, площа листової поверхні, фотосинтетичні пігменти, погодні умови.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Соя (*Glycine max* L. Merr.) є бобовою культурою, що користується великим попитом на світовому ринку, завдяки чому вона посідає шосту позицію серед найбільш поширених культур за обсягами виробництва та четверту – за економічною цінністю і площею виробництва [1]. Сою застосовують як у харчовій промисловості, так і для виготовлення промислових товарів, виробництва кормів для тварин і навіть біодизелю [2].

Розмір ринку сої в 2024 р. оцінювали на рівні 198,1 млрд дол. й очікується, що до 2029 р. він досягне 277,9 млрд дол., що обумовлено середньорічним сукупним темпом зростання в 7,2 % [3]. Обсяг світового виробництва сої в сезоні 2024/25 оцінюють рекордним показником у 421 млн т, перевищивши на 7,0 % результат попереднього сезону (395 млн т). Це зростання супроводжується збільшенням світового споживання сої на 5 % через попит у секторах кормів, продуктів харчування та промисловості, причому очікується, що споживання досягне 405 млн т [4].

В Україні у 2024 р. за аномальної спеки та посухи обсяги виробництва сої досягли рекордних 6,0 млн т або на 15,4 % більше відносно 2023 р. завдяки збільшенню посівних площ на 10–15 %. Виробництво сої в ЄС зросло лише на 0,3 % порівняно з попереднім роком через негативний вплив погодних умов у країнах Центральної Європи [5]. Отже, ключовим чинником розвитку виробництва сої в Європі у поточному сезоні була Україна, яка входить до десяти найбільших світових виробників сої [6].

За даними [7], у Європі триваюча зміна клімату та висока потреба у внутрішніх ринках генетично немодифікованої сої обумовлюють необхідність впровадження сої у типові системи органічного землеробства. Враховуючи дослідження [8], ринок ЄС є найбільшим ринком збуту вітчизняної сої (47 % від загального експорту), тому вітчизняні виробники прагнуть дотримуватись Європейського зеленого курсу, одним з важливих напрямів якого є впровадження органічного виробництва. У 2022 році світовий ринок органічної сої оцінювали в 1,5 млрд дол. За прогнозами, його обсяг зросте з 1,688 млрд дол. у 2024 р. до 3,433 млрд дол. у 2030 р., що відповідає середньорічному темпу зростання у 12,6 % упродовж прогнозованого періоду (2024–2030 роки). Європейський ринок органічної сої посідає друге місце за обсягом серед світових регіональних ринків. Зокрема, ринок органічної сої Великої Британії займає

провідну частку серед європейських країн, тимчасом Німеччина демонструє найвищі темпи зростання у цьому регіоні [9].

За даними досліджень [10], рентабельність органічної сої в Україні є високою попри наявність кліматичного ризику, особливо нерівномірного впливу опадів і високих температур, що потребує впровадження технологічних інновацій щодо підвищення її врожайності. Однак важко отримати високі врожаї й якісне насіння сої, попри належні властивості ґрунту, навіть в умовах органічного землеробства [11], через нестачу води та переважаючу високу температуру.

Враховуючи дослідження [12], незважаючи на свою адаптивність, соя також зазнає впливу мінливості клімату, зокрема це непередбачуваний режим опадів, який загрожує росту та врожайності. Ступінь ефекту залежить від того, коли настає період високих температур і наскільки інтенсивним є дефіцит води. Такі зміни погодних умов здатні спричинити зниження врожайності сої до 40 %.

Дослідження [13, 14] свідчать, що коли соя піддається впливу високих температур у фазу заповнення насінням, її врожайність знижується, а склад насіння змінюється. Авторами [15] доведено, що з кожним підвищенням температури на 1 °C урожайність сої знижується в середньому на 17 %. Також зазначається, що високотемпературний стрес під час середнього репродуктивного росту, є більш шкідливим для врожаю та розміру насіння, ніж той, що виникає на ранніх або пізніх стадіях репродуктивного розвитку [16, 17]. Дослідження [18] вказують, що найбільш згубний вплив на врожайність сої (зниження сягає 42–64 %) має комбінована дія високої температури та посухи порівняно з їх окремими впливами.

На думку авторів [19], одним з перспективних напрямів управління процесом формування стійких агроценозів бобових культур, насамперед сої, є застосування препаратів, які дозволяють захистити фізіологічний стан рослин від надмірного температурного впливу та дефіциту опадів. Згідно з дослідженнями [20, 21], на сьогодні найбільш вживаними технологічними заходами є ґрунтування насіння різноманітними біостимуляторами, гормональними препаратами та осмопротекторами, які вже випробувані на таких культурах як пшениця, кукурудза та нут.

Водночас, відомо не так багато досліджень, присвячених порівнянню ефективності обробки насіння сої мікроорганізмами

та фітогормонами, хоча передпосівна інокуляція насіння бактеріальними препаратами є обов'язковим елементом технології вирощування, що важливо для органічної системи землеробства. За даними [22], препарати на основі різноманітних симбіотичних і несимбіотичних ризобактерій використовують як біоінокулянти для сприяння росту та розвитку рослин за допомогою різних механізмів, включаючи фіксацію азоту, виробництво сидерофорів, синтез фітогормонів тощо.

Мета дослідження полягала у визначенні впливу передпосівної інокуляції й обробки фітогормональним препаратом насіння сої у системі органічного землеробства на вміст фотосинтетичних пігментів і врожайність у критичних кліматичних умовах.

Матеріал і методи дослідження. Польові дослідження проведено на дослідному полі на території Кременчуцького району Полтавської області впродовж 2022–2024 років. Ґрунт дослідних ділянок – чорнозем залишково-солонцюватий на лесових породах із помірним рівнем забезпеченості азотом і фосфором та високим – калієм.

Для проведення аналізу ґрунту відібрано 5 проб з глибини 0–20 см дослідної ділянки. Композитний зразок ґрунту виготовлений за допомогою змішування зібраних зразків. Зразок сушили на повітрі, подрібнювали і пропускали через сито 2 мм. Визначення вмісту азоту, фосфору, калію та рН у зразках ґрунту (0–20 см) виконано за допомогою мультипараметричного фотометру Palintest SK500: pH_{KCl} – 6,3; гумус – 5,2 %; загальний азот – 58,6 мг/кг; фосфор (P_2O_5) – 78,3 мг/кг; калій (K_2O) – 138,4 мг/кг.

Загальна площа земельної ділянки становила 0,3 га, облікова – 0,1 га.

У процесі досліджень використовували агротехніку, звичайну для зони вирощування. Попередник – ячмінь ярий. Посів сої здійснювали в оптимальні терміни згідно з кліматичними умовами року дослідження на глибину 5 см, з шириною міжрядь 38 см і нормою висіву 700 тис. насінин/га.

Технологічний обробіток ґрунту з урахуванням особливостей вирощування рослинних культур за органічною технологією включав: осінню оранку плугом, весняне боронування важкою бороною для збереження вологи, культивування стерньовим агрегатом, досходове та післясходове боронування сітчастою бороною Striegel, а також дві міжрядні культивування для контролювання бур'янів.

Для захисту посівів від шкідників тричі вручну вносили трихограму (100–200 тис. особин/га) у 50 точках на гектар: до сівби, через місяць та за необхідності, залежно від рівня зараження посівів.

Об'єкт дослідження – ранньостиглий сорт сої вітчизняної селекції Хорол, оригіна́тор – ТОВ «Науково-дослідний інститут сої».

Повторність досліду – триразова. Розміщення варіантів – рендомізоване.

Для інокуляції насіння сої використано бактеріальний препарат Legume Fix та препарат з комплексом фітогормонів Віолар. На контрольному варіанті проведено обробку насіння та рослин сої еквівалентною кількістю води.

До складу препарату Legume Fix (виробник – Legume Technology LTD, Великобританія) входять: бактерії *Bradyrhizobium japonicum* 532 C (2×10^9 /г), поживний розчин з дріжджового екстракту (46 %), полівінілпіролідол (5 %) і осоковий торф (49 %) як носій, стерилізований γ -променями, подрібнений і скорегований до $\text{pH}=7$, з незначним вмістом порошкоподібного вапна [23]. Насіння інокулювали сухим методом за 30 хв до посіву за норми 1,25 кг інокулянту на 500 кг насіння.

Біопрепарат Віолар (супернатант культуральної рідини + етанольний екстракт біомаси (4:1) продуцента *S. violaceus* IMB Ac-5027) є поліфункціональним метаболічним біопрепаратом на основі ґрунтових стрептоміцетів з вмістом комплексу природних фітогормонів: ауксинів (3,6 мг/л), цитокінінів (1,9 мг/л), гіберелінів (1,6 мг/л), вільних амінокислот (2,2 мг/л), ліпідів (5,5 мг/л), абсцисової кислоти (0,02 мг/л), стеролів (1,71 мг/л), а також ненасичених жирних кислот. Виробник – ТОВ «ІК «Біоінвест-Агро»», Україна. Цей препарат використовували для передпосівної обробки насіння (0,5 л/т) та обприскування в період бутонізації–початку цвітіння (10 мл/га) [24].

Вимірювання оптичної густини проводили на спектрофотометрі ULAB 108 UV. Розрахунок площі листової поверхні проведено за допомогою програми Easy Leaf Area [25]. Знаючи площу листків на одній рослині та, помноживши цей показник на густоту рослин на 1 га, одержано площу листового апарату рослин на певній площі, виражену в $\text{м}^2/\text{га}$.

Матеріал для визначення фотосинтетичних пігментів обробляли в свіжому стані відразу після збору. Екстрагували пігменти 96 % етанолом. Спектрофотометричне вимірювання оптичної щільності етанольних

екстрактів для визначення вмісту хлорофілу *a* (Chl *a*) та хлорофілу *b* (Chl *b*) проводили без попереднього розділення за максимумами поглинання Chl *a* – 665 нм, Chl *b* – 649 нм на спектрофотометрі ULAB 108 UV. Розрахунків вмісту пігментів в отриманих екстрактах проводили за методикою [26] за формулами (1–2):

$$C_{\text{chl } a} = [(13,95D_{665} - 6,88D_{649}) \cdot V] / m, \quad (1)$$

$$C_{\text{chl } b} = [(24,96D_{649} - 7,32D_{665}) \cdot V] / m, \quad (2)$$

де $C_{\text{chl } a}$, $C_{\text{chl } b}$ – концентрація Chl *a* і Chl *b* в мг/г сирової речовини;

D_{665} і D_{649} – оптична щільність спиртового екстракту пігментів за довжин хвиль $\lambda=665$ нм та $\lambda=649$ нм, відповідно;

m – маса наважки, мг;

V – об'єм етанолу, см³.

Статистичну обробку даних проведено методами описової статистики, регресійного та дисперсійного аналізу з використанням програми Statistica 12.0. Значимість експериментальних даних оцінювали за допомогою дисперсійного аналізу (ANOVA) для розрахунку найменшої істотної різниці HIP_{05} .

Результати дослідження та обговорення. Аналіз динаміки формування площі листової поверхні рослин сої впродовж 2022–

2024 рр. дозволив оцінити вплив погодних умов під час вегетації культури (рис. 1).

За наведеними даними у 2022 та 2023 рр. температурні показники та вологозабезпечення виявились більш сприятливими для зростання та розвитку рослин сої. Тимчасом у 2024 р. спостерігались надвисокі температури та низька відносна вологість повітря через недостатній обсяг атмосферних опадів і нерівномірність їх розподілу впродовж вегетації, що обмежувало формування площі листової поверхні посівів культури.

У спекотному 2024 р. площа листової поверхні рослин сої виявилась меншою, ніж у попередніх 2022 та 2023 роках на всіх варіантах дослідів (рис. 2): на контролі – на 16,5–22,1 %; за інокуляції Legume Fix – на 13,6–21,3 %; за фітогормональної обробки Віолар – на 16,1–21,2 %.

Для встановлення впливу передпосівної обробки насіння Legume Fix і Віолар на роботу фотосинтетичного апарату рослин сої за різних погодних умов виконаний аналіз динаміки вмісту хлорофілу Chl *a* і Chl *b* та розраховано суму їх форм, оскільки ефективність пігментної системи впливає на врожайність культури сої та залежить від умов навколишнього середовища (табл. 1).



Рис. 1. Середньомісячна температура повітря та кількість опадів впродовж вегетаційного періоду сої, 2022–2024 рр.

Джерело: побудовано за результатами авторських досліджень.

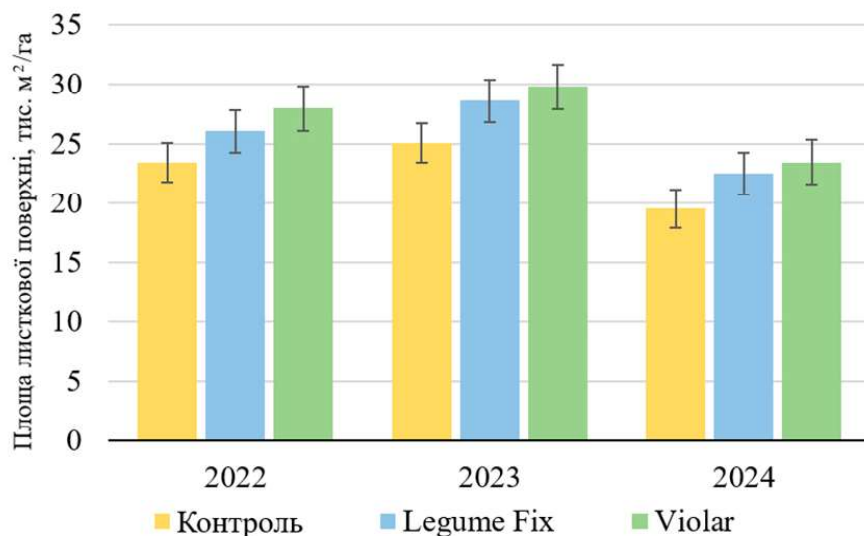


Рис. 2. Динаміка формування площі листкової поверхні рослин сої за різних технологій передпосівної обробки, тис. м²/га (середнє за 2022–2024 рр.)

Джерело: розраховано та побудовано авторами.

Таблиця 1 – Вміст хлорофілу *a* і *b* у листках сої у фазу цвітіння залежно від технології передпосівної обробки, середнє за 2022–2024 рр.

Технологія	Chl <i>a</i>			Chl <i>b</i>			Chl (<i>a+b</i>)		
	2022	2023	2024	2022	2023	2024	2022	2023	2024
Контроль (вода)	1,12	1,17	0,78	0,46	0,48	0,34	1,58	1,66	1,12
Legume Fix	1,17	1,23	0,88	0,47	0,49	0,36	1,64	1,73	1,24
Віолар	1,29	1,44	0,93	0,51	0,56	0,38	1,80	2,00	1,30
НІР ₀₅	0,098			0,034			0,134		

Джерело: побудовано за результатами авторських досліджень.

У дослідженні передпосівна обробка насіння сої дослідними препаратами покращила фізіологічні показники рослин, сприяла збільшенню вмісту хлорофілу, що активізувало фотохімічні функції хлоропластів, підвищуючи ефективність фотосинтезу. Із даних таблиці 1 видно збільшення загального вмісту Chl (*a+b*) за використання Legume Fix та Віолар залежно від років дослідження порівняно з контролем на 3,5–10,7 і 14,1–21,0 %, відповідно. Сумарний вміст Chl (*a+b*) в рослинах сої завдяки застосуванню Legume Fix і Віолар порівняно з контрольними рослинами у 2024 р. збільшився на 10,7 і 16,1 % відповідно, тимчасом у 2022–2023 рр. в середньому – на 4,0 і 17,5 % відповідно.

Порівняння концентрації Chl *a* і Chl *b* в рослинах, вирощених з насіння, обробленого Віолар, показало їх максимальний рівень в усі роки дослідження. Вміст Chl *a* і Chl *b*

перевищував контроль у середньому на 18,9 та 13,3 %, відповідно, і на 7,4 та 3,4 % вміст хлорофілів у рослинах з насіння, іноккульованого Legume Fix.

Слід зазначити, що вміст фотосинтетичних пігментів у листі культури сої у більш сприятливому 2023 р. збільшився, що може бути обумовлено обробкою насіння біопрепаратами. Зокрема, у 2023 р. порівняно з 2022 р. за використання Legume Fix та Віолар спостерігалось збільшення вмісту Chl *a* на 5,1 і 11,6 %, відповідно, а перевищення контролю становило 5,1–23,1 % за дією обох препаратів.

Збільшення вмісту Chl *b* у 2023 р. порівняно з 2022 р. корелювало зі зростанням рівня Chl *a*. Концентрація Chl *b* в листі сої за використання Віолар виявилась більшою за його концентрацію в 2022 р. на 9,8 %, концентрація Chl *b* за використання Legume Fix перевищувала цей показник і контроль на 4,3 %.

Слід зазначити, що незважаючи на зменшення вмісту Chl *a* та Chl *b* за всіма варіантами досліджень у 2024 р., ріст рослин інгібувався високою температурою. Порівняно з вмістом у рослинах, вирощеними у попередні роки, за використання Віолар вміст Chl *a* збільшився відносно контролю на 19,2 %, що підтверджує ефективність його дії у подоланні температурного чинника. Проте, вміст Chl *b* за використання Віолар перевищував контрольні рослини у 2024 р. на 11,8 %, а в більш сприятливих 2022–2023 рр. – на 10,9–16,7 %.

За інокуляції насіння сої Legume Fix у 2024 р. вміст Chl *a* в рослинах збільшився найбільш суттєво – на 12,8 %, а Chl *b* – на 5,9 % відносно контрольних рослин. Аналогічну кореляцію спостерігали у 2022–2023 рр. – зростання Chl *a* становило 4,5–5,1 %, а Chl *b* – лише на 2,1 %.

Урожайність сої на контрольному варіанті визначено на рівні 1,9–2,4 т/га залежно від року (рис. 3), тимчасом за використання Legume Fix та Віолар – 2,1–2,8 і 2,3–3,0 т/га відповідно. Експериментально визначено збільшення вмісту Chl (*a+b*) відносно контролю на 5,5 % за інокуляції Legume Fix та на 17,2 % за використання фітогормонального препарату Віолар, що привело до зростання врожайності сої в середньому на 13,2–20,6 %. Водночас, між вмістом Chl (*a+b*) та врожайністю визначено пряму кореляційну залежність

із сильним зв'язком за всіма варіантами досліджень: контрольному – $r=0,986$, за використання інокулянту Legume Fix – $r=0,983$, біопрепарату Віолар – $r=0,988$.

Отриманий приріст врожайності корелює з результатами роботи [24] – використання Віолару за вирощування пшениці ярої сприяло зростанню вмісту Chl *a*, Chl *b* та Chl (*a+b*) на 20,0; 40,0 і 19,2 %, відповідно, що забезпечило збільшенню врожайності зерна на 20,3 %. За результатами досліджень, використання Віолар привело до зростання вмісту Chl *a*, Chl *b* та Chl (*a+b*) відносно контролю в середньому на 18,9; 13,3 і 17,2 %, а врожайності – на 20,6 %.

Ефективність застосування Legume Fix відображено у дослідженні [27], де інокульоване насіння сої доповнювали позакореневим підживленням комплексними хелатними мікродобривами. У результаті збільшення вмісту Chl *a*, Chl *b* та Chl (*a+b*) у листках рослин двох сортів сої становило 5,8–8,2; 1,1–16,8 і 6,8–7,8 % відповідно, а врожайності – на 6,0–8,0 %. Згідно з дослідженнями [28], застосування Legume Fix у системі органічного землеробства сприяло зростанню врожайності насіння сої на 12,4–16,1 %, а за даними [29] – на 14,8–22,2 %.

За результатами виконаного статистичного аналізу отриманих даних підтверджено зв'язок між рівнем урожайності, площею листової поверхні та вмістом Chl (*a+b*) (рис. 4).

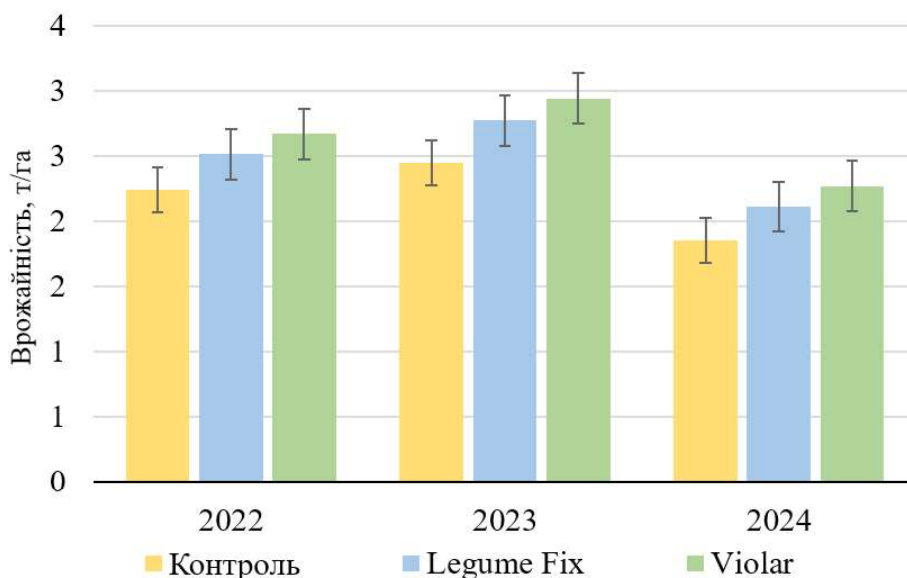
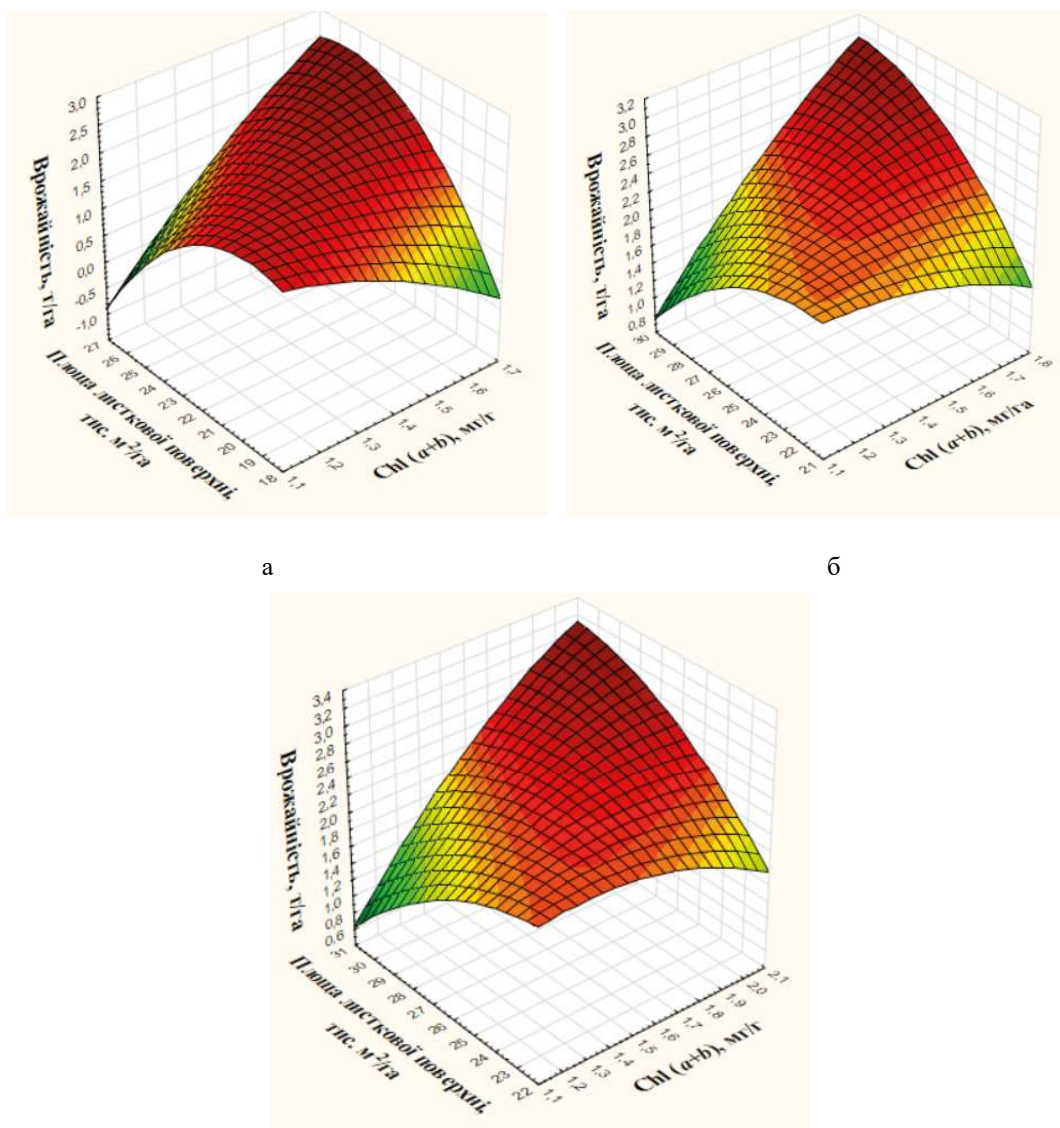


Рис. 3. Динаміка врожайності сої сорту Хорол за передпосівної обробки насіння різними технологіями, т/га (в середньому за 2022–2024 рр.)

Джерело: побудовано за результатами авторських досліджень.



а

б

в

Рис. 4. Графіки квадратичної регресії врожайності сої за системи органічного землеробства від площі поверхні листка та вмісту Chl (a+b) для:

а – контрольного варіанта

$$(Y = 1,2484 - 13,5111x + 0,8349y - 2,8747x^2 + 1,0067xy - 0,0497y^2);$$

б – інокуляції насіння Legume Fix

$$(Y = 2,7017 - 6,8097x + 0,2842y - 1,3705x^2 + 0,4635xy - 0,0185y^2);$$

в – використання біопрепарату Віолар

$$(Y = 2,0979 - 4,8653x + 0,267y - 1,0995x^2 + 0,3509xy - 0,0156y^2).$$

Джерело: побудовано за результатами авторських досліджень.

За наведеними даними можна стверджувати про сильний прямий зв'язок між площею листової поверхні та рівнем врожайності на всіх варіантах досліджень – контрольному ($r=0,990$), за використання інокулянту Legume Fix ($r=0,996$) та біопрепарату Віолар ($r=0,986$). Також пряму кореляційну

залежність із сильним зв'язком встановлено між концентрацією Chl a та врожайністю на всіх варіантах досліджень – контрольному ($r=0,983$), Legume Fix ($r=0,986$) та Віолар ($r=0,988$); концентрацією Chl b та врожайністю – контроль ($r=0,957$), Legume Fix ($r=0,982$) та Віолар ($r=0,977$).

Експериментально визначено збільшення вмісту Chl ($a+b$) відносно контролю на 5,5 % за інокуляції Legume Fix та на 17,2 % за використання біопрепарату Віолар, що привело до зростання врожайності сої в середньому на 13,2–20,6 %. Водночас, між вмістом (Chl ($a+b$)) та врожайністю визначено пряму кореляційну залежність із сильним зв'язком за всіма варіантами досліджень: контролю – $r = 0,986$, Legume Fix – $r = 0,983$, Віолар – $r = 0,988$.

Отже, результати експерименту й аналіз результатів дозволяють визначити фітогормональний препарат Віолар у ґрунтуванні насіння як ефективний засіб індукції рослин сої у подоланні несприятливих погоднокліматичних умов і формуванні високої врожайності за технологіями органічного землеробства.

Висновки. Представлене дослідження показало, що в системі органічного землеробства інокуляція насіння бактеріальними препаратами та ґрунтування препаратами із вмістом фітогормонів справляють значний вплив на розвиток і продуктивність сої в критичних умовах вирощування (відсутність опадів за високих температур). Кількісна оцінка таких параметрів як площа листової поверхні, вміст хлорофілів залежно від умов вирощування і способу передпосівної обробки насіння забезпечує інформативне та достовірне розуміння чинників приросту врожайності.

Отримані результати показали, що всі способи обробки насіння сої призводять до збільшення площі листової поверхні, вмісту фотосинтетичних пігментів та врожайності. Статистично підтверджений сильний прямий зв'язок між вказаними показниками та врожайністю, яка в середньому збільшилась відносно контролю на 13,2 % (2,87 т/га) за використання препарату Legume Fix та на 20,5 % (4,47 т/га) за використання Віолар.

Це дослідження демонструє можливості різних підходів до підготовки насіння сої (використання бактеріальних та фітогормональних препаратів) для вирощування за технологіями органічного землеробства, порівнюючи їх ефективність.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Bosanquet J. Summary series: soy. URL: <https://tabledebates.org/building-blocks/table-summary-series-soy>.
2. Soy protein: Impacts, production, and applications. Sustainable protein sources / M. Thrane et al. Academic Press, 2017. P. 23–45. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128027783000020>.

3. Soybean Market Size & Share Analysis – Growth Trends & Forecasts (2024–2029). URL: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/soybean-market>.

4. IGS: Global soybean production in 2024/25 MY to break record. URL: <https://www.tridge.com/news/igs-global-soybean-production-in-202425-my-tndaksl>.

5. Ukraine soybean area, yield and production. URL: <https://ipad.fas.usda.gov/countrysummary/Default.aspx?id=UP&crop=Soybean>.

6. Полевик В. Україна стала драйвером з вирощування сої. URL: <https://agroportal.ua/news/rastenievodstvo/ukrajina-stala-drayverom-z-viroshchuvannya-soji>.

7. IISD's State of Sustainability Initiatives Review: Standards and investments in sustainable agriculture / V. Voora et al. Canada: International Institute for Sustainable Development. 2022. URL: https://www.researchgate.net/publication/378140518_State_of_Sustainability_Initiatives-Review-Standards_and_Investments_in_Sustainable_Agriculture.

8. European soybean to benefit people and the environment / J.L. Rotundo et al. Scientific Reports. 2024. Vol. 14. 7612. DOI: 10.1038/s41598-024-57522-z

9. Nandi P. Organic soybean market research report by application (crush, food use, feed use) and by region (North America, Europe, Asia-Pacific, and rest of the world) – market forecast till 2030. 2017. 89 p. URL: <https://www.marketresearchfuture.com/reports/organic-soybean-market-4208>.

10. Чайка Т.О., Пономаренко С.В. Технологіко-економічні особливості вирощування органічної сої та озимої пшениці на фураж. Вісник Уманського національного університету садівництва. 2015. № 1. С. 100–106.

11. Чайка Т.О. Вирощування органічної сої в Україні: перспективи та реальність. Актуальні напрямки та проблематика у технологіях вирощування продукції рослинництва: міжнар. наук.-практ. конф. Полтава: ПДАУ, 2023. С. 10–12.

12. Differential drought responses of soybean genotypes in relation to photosynthesis and growth-yield attributes / M.S. Hossain et al. Plants. 2024. Vol. 13(19). 2765 p. DOI: 10.3390/plants13192765

13. High temperature during soybean seed development differentially alters lipid and protein metabolism / A.C.S. Nakagawa et al. Plant Production Science. 2020. Vol. 23(4). P. 504–512. DOI: 10.1080/1343943X.2020.1742581

14. Heat waves imposed during early pod development in soybean (*Glycine max*) cause significant yield loss despite a rapid recovery from oxidative stress / M.H. Siebers et al. Global Change Biology. 2015. Vol. 21(8). P. 3114–3125. DOI: 10.1111/gcb.12935

15. Lobell D.B., Asner G.P. Climate and management contributions to recent trends in U.S. agricultural yields. Science. 2003. Vol. 299(5609). 1032 p. DOI: 10.1126/science.1077838

16. Soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] seed yield response to high temperature stress during reproductive growth stages / A. Puteh et al. Australian Journal of Crop Science. 2013. Vol. 7(10). P. 1472–1479. DOI: 10.3316/informit.618691

17. Jumrani K., Bhatia V.S. Impact of combined stress of high temperature and water deficit on growth and seed yield of soybean. Physiology and Molecular Biology of Plants. 2018. Vol. 24(1). P. 37–50. DOI: 10.1007/s12298-017-0480-5

18. Ogunkanmi L., MacCarthy D.S., Adiku S.G.K. Impact of extreme temperature and soil water stress on the growth and yield of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill). Agriculture. 2022. Vol. 12(1). 43 p. DOI: 10.3390/agriculture12010043

19. Seed priming with melatonin coping drought stress in rapeseed by regulating reactive oxygen species detoxification: Antioxidant defense system, osmotic adjustment, stomatal traits and chloroplast ultrastructure perseveration / M.N. Khan et al. Industrial Crops and Products. 2019. Vol. 140. 111597 p. DOI: 10.1016/j.indcrop.2019.111597

20. Seed priming a technique / J. Nawaz et al. International Journal of Agriculture and Crop Sciences. 2013. 6(20). P. 1373–1381.

21. Emmer wheat productivity formation as depending on pre-sowing seed treatment method in organic and traditional technology cultivation / I.V. Korotkova et al. Regulatory Mechanisms in Biosystems. 2023. Vol. 14(1). P. 41–47. DOI: 10.15421/022307

22. Effects of soybean co-inoculation with plant growth promoting rhizobacteria in field trial / J. Marinkovic et al. Romanian Biotechnological Letters. 2018. Vol. 23(2). P. 13401–13408.

23. Legumefix. 100 % Organic Farm-Applied Peat-Based Inoculant. URL: <https://legumetechnology.co.uk/products/legumefix/>

24. Impact of microbial biostimulants on induction of callusogenesis and organogenesis in the isolated tissue culture of wheat in vitro / V. Tsygankova et al. Journal of the Mechanics and Physics of Solids. 2017. Vol. 5(3). P. 155–164.

25. Easlon H.M., Bloom A.J. Easy Leaf Area: Automated digital image analysis for rapid and accurate measurement of leaf area. Applications in Plant Sciences. 2014. Vol. 2(7). 1400033 p. DOI: 10.3732/apps.1400033

26. Wellburn A.R. The spectral determination of chlorophylls a, and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. Journal of Plant Physiology. 1994. Vol. 144(3). P. 307–313.

27. Гадзовський Г.Л., Новицька Н.В., Мартинів О.М. Вміст хлорофілу в листі рослин і врожайність сої при внесенні хелатних мікроелементів. Таврійський науковий вісник. Сільськогосподарські науки. 2019. № 105. С. 34–38.

28. Чайка Т.О., Ляшенко В.В., Хоменко Б.С. Вплив інокуляції насіння на врожайність сої за органічної технології вирощування. Таврійський науковий вісник. Сільськогосподарські науки.

2023. № 133. С. 180–187. DOI: 10.32782/2226-0099.2023.133.24

29. Nimenko S.S., Grabovskyi M.B. Grain yield of soybean varieties depends on elements of organic growing technology. Irrigated farming. 2023. Vol. 79. P. 52–59. DOI: 10.32848/0135-2369.2023.79.7

REFERENCES

1. Bosanquet, J. Summary series: soy. Available at: <https://tabledebates.org/building-blocks/table-summary-series-soy>

2. Thrane, M., Paulsen, P.V., Orcutt, M.W., Krieger, T.M. (2017). Soy protein: Impacts, production, and applications. Sustainable protein sources. Academic Press. pp. 23–45. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128027783000020>.

3. Soybean Market Size & Share Analysis – Growth Trends & Forecasts (2024–2029). Available at: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/soybean-market>

4. IGS: Global soybean production in 2024/25 MY to break record. Available at: <https://www.tridge.com/news/igs-global-soybean-production-in-202425-my-t-daksl>

5. Ukraine soybean area, yield and production. Available at: <https://ipad.fas.usda.gov/countrysummary/Default.aspx?id=UP&crop=Soybean>

6. Polevyk, V. (2024). Ukraina stala draiverom z vyroshchuvannia soi [Ukraine has become a driver in soybean cultivation]. Available at: <https://agroportal.ua/news/rasteniiovodstvo/ukrajina-stala-draiverom-z-vyroshchuvannya-soji>

7. Voora, V., Larrea, C., Huppe, G., Nugnes, F. (2022). IISD's State of Sustainability Initiatives Review: Standards and investments in sustainable agriculture. Canada, International Institute for Sustainable Development. Available at: https://www.researchgate.net/publication/378140518_State_of_Sustainability_Initiatives-Review-Standards_and_Investments_in_Sustainable_Agriculture

8. Rotundo, J.L., Marshall, R., McCormick, R., Truong, S.K., Styles, D., Gerde, J.A., Gonzalez-Escobar, E., Carmo-Silva, E., Janes-Bassett, V., Logue, J., Annicchiarico, P., de Visser, C., Dind, A., Dodd, I.C., Dye, L., Long, S.P., Lopes, M.S., Pannecouque, J., Reckling, M., Rushton, J., Schmid, N., Shield, I., Signor, M., Messina, C.D., Rufino, M.C. (2024). European soybean to benefit people and the environment. Scientific Reports. no. 14, 7612. DOI: 10.1038/s41598-024-57522-z

9. Nandi, P. (2017). Organic soybean market research report by application (crush, food use, feed use) and by region (North America, Europe, Asia-Pacific, and rest of the world) – market forecast till 2030. 89 p. Available at: <https://www.marketresearchfuture.com/reports/organic-soybean-market-4208>.

10. Chayka, T.O., Ponomarenko, S.V. (2015). Tekhnoloho-ekonomichni osoblyvosti vyroshchu-

vannia orhanichnoi soi ta ozymoi pshenytsi na furazh [Technological and economic features of growing organic soybeans and winter wheat forage]. *Visnyk Umanskoho natsionalnoho universytetu sadivnytstva* [Bulletin of Uman national university of horticulture]. no. 1, pp. 100–106.

11. Chaika, T.O. (2023). Vyroshchuvannia orhanichnoi soi v Ukraini: perspektyvy ta realnist [Organic soybean cultivation in Ukraine: prospects and reality]. Aktualni napriamky ta problematyka u tekhnolohiiakh vyroshchuvannia produktii roslinnytstva: mizhnar. nauk.-prakt. konf. [Current trends and challenges in crop production technologies: international scientific and practical conference]. Poltava, PDAU, pp. 10–12.

12. Hossain, M.S., Khan, M.A.R., Mahmud, A., Ghosh, U.K., Anik, T.R., Mayer, D., Das, A.K., Mostofa, M.G. (2024). Differential drought responses of soybean genotypes in relation to photosynthesis and growth-yield attributes. *Plants*. no. 13(19), 2765. DOI: 10.3390/plants13192765

13. Nakagawa, A.C.S., Ario, N., Tomita, Y., Tanaka, S., Murayama, N., Mizuta, C., Iwaya-Inoue, M., Ishibashi, Y. (2020). High temperature during soybean seed development differentially alters lipid and protein metabolism. *Plant Production Science*. no. 23(4), pp. 504–512. DOI: 10.1080/1343943X.2020.1742581

14. Siebers, M.H., Yendrek, C.R., Drag, D., Locke, A.M., Acosta, L.R., Leakey, A.D.B., Ainsworth, E.A., Bernacchi, C.J., Ort, D.R. (2015). Heat waves imposed during early pod development in soybean (*Glycine max*) cause significant yield loss despite a rapid recovery from oxidative stress. *Global Change Biology*. no. 21(8), pp. 3114–3125. DOI: 10.1111/gcb.12935

15. Lobell, D.B., Asner, G.P. (2003). Climate and management contributions to recent trends in U.S. agricultural yields. *Science*. no. 299(5609), 1032. DOI: 10.1126/science.1077838

16. Puteh, A., ThuZar, M., Mondal, M.M.A., Abdullah, N.A.P.B., Halim, M.R.A. (2013). Soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] seed yield response to high temperature stress during reproductive growth stages. *Australian Journal of Crop Science*. no. 7(10), pp. 1472–1479. DOI: 10.3316/informit.618691

17. Jumrani, K., Bhatia, V.S. (2018). Impact of combined stress of high temperature and water deficit on growth and seed yield of soybean. *Physiology and Molecular Biology of Plants*. no. 24(1), pp. 37–50. DOI: 10.1007/s12298-017-0480-5

18. Ogunkanmi, L., MacCarthy, D.S., Adiku, S.G.K. (2022). Impact of extreme temperature and soil water stress on the growth and yield of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill). *Agriculture*. no. 12(1), 43. DOI: 10.3390/agriculture12010043

19. Khan, M.N., Zhang, J., Luo, T., Liu, J., Rizwan, M., Fahad, S., Xu, J., Hu, L. (2019). Seed priming with melatonin coping drought stress in rapeseed by regulating reactive oxygen species detoxification: Antioxidant defense system, osmotic adjustment, sto-

matal traits and chloroplast ultrastructure perseveration. *Industrial Crops and Products*. no. 140, 111597. DOI: 10.1016/j.indcrop.2019.111597

20. Nawaz, J., Hussain, M., Jabbar, A., Nadeem, G.A., Sajid, M., Subtain, M.U., Shabbir, I. (2013). Seed priming a technique. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. no. 6(20), pp. 1373–1381.

21. Korotkova, I.V., Chaika, T.O., Romashko, T.P., Chetveryk, O.O., Rybalchenko, A.M., Barabolia, O.V. (2023). Emmer wheat productivity formation as depending on pre-sowing seed treatment method in organic and traditional technology cultivation. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. no. 14(1), pp. 41–47. DOI: 10.15421/022307

22. Marinkovic, J., Bjelic, D., Tintor, B., Miladinovic, J., Dukic, V., Dordevic, V. (2018). Effects of soybean co-inoculation with plant growth promoting rhizobacteria in field trial. *Romanian Biotechnological Letters*. no. 23(2), pp. 13401–13408.

23. Legumefix. 100% Organic Farm-Applied Peat-Based Inoculant. Available at: <https://legumefix.co.uk/products/legumefix/>

24. Tsygankova, V., Shysha, E., Galkin, A., Biliavska, L., Iutynska, G., Yemets, A., Blume, Y. (2017). Impact of microbial biostimulants on induction of callusogenesis and organogenesis in the isolated tissue culture of wheat in vitro. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*. no. 5(3), pp. 155–164.

25. Easlon, H.M., Bloom, A.J. (2014). Easy Leaf Area: Automated digital image analysis for rapid and accurate measurement of leaf area. *Applications in Plant Sciences*. no. 2(7), 1400033. DOI: 10.3732/apps.1400033

26. Wellburn, A.R. (1994). The spectral determination of chlorophylls a, and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of Plant Physiology*. no. 144(3), pp. 307–313.

27. Hadzovskyi, H.L., Novytska, N.V., Martynov, O.M. (2019). Vmist khlorofilu v lysti roslin i vrozhainist soi pry vnesenni khelatnykh mikroelementiv [Chlorophyll content in the leaves of plants and the yield of soybeans with the introduction of chelated micronutrients]. *Tavriiskyi naukovi visnyk. Silskohospodarski nauky* [Taurida Scientific Herald. Rural Sciences]. no. 105, pp. 34–38.

28. Chaika, T.O., Liashenko, V.V., Khomenko, B.S. (2023). Vplyv inokuliatsii nasinnia na vrozhainist soi za orhanichnoi tekhnolohii vyroshchuvannia [The impact of seed inoculation on soybean yield under organic cultivation technology]. *Tavriiskyi naukovi visnyk. Silskohospodarski nauky* [Taurida Scientific Herald. Rural Sciences]. no. 133, pp. 180–187. DOI: 10.32782/2226-0099.2023.133.24

29. Nimenko, S.S., Grabovskyi, M.B. (2023). Grain yield of soybean varieties depends on elements of organic growing technology. *Irrigated farming*. no. 79, pp. 52–59. DOI: 10.32848/0135-2369.2023.79.7

Effect of pre-sowing treatment of soybean seeds with biopreparations on the photosynthetic pigments content and yield under unstable moisture conditions and organic farming**Chaika T., Korotkova I.**

Global soybean production is continuously increasing, as it remains one of the most in-demand crops on the global food market. At the same time, climate changes, manifested through rising temperatures and precipitation deficits during the crop's vegetative period, significantly affects its yield. This necessitates the implementation of new technological solutions that ensure the efficient use of production resources and the safety of the final product. One of such promising methods is the pre-sowing treatment of soybean seeds with biopreparations, which enhance plant resistance to stress factors and contribute to achieving potential yields with high quality.

The aim of this study is to determine the effect of pre-sowing inoculation and treatment with a phytohormonal preparation on the content of photosynthetic pigments and yield of soybeans in organic farming system in challenging climate conditions.

Field experiments conducted in 2022–2024 in Poltava region investigated the effect of pre-sowing

seed treatment of the «Horol» soybean variety with the inoculant Legume Fix and the phytohormonal preparation «Violar» on leaf area, photosynthetic pigment content, and yield under various weather conditions within an organic farming system.

The results showed that pre-sowing seed treatment contributed to an increase in leaf area by an average of 13.4 % with «Legume Fix» and 19.3 % with «Violar». It was established that treatment with «Violar» led to an increase in the concentration of Chl *a*, Chl *b*, and total Chl (*a+b*) compared to the control by an average of 18.9 %, 13.3 %, and 17.2 % respectively, whereas inoculation with «Legume Fix» increased these indicators by 7.4 %, 3.4 %, and 6.2 % respectively.

It was also determined that pre-sowing seed treatment with «Legume Fix» and «Violar» resulted in an average yield increase of 13.2 % and 20.6 % respectively, compared to the control plants. A strong direct correlation was calculated between leaf area, Chl (*a+b*) content, and yield levels across all study variants: control (0.990; 0.986), «Legume Fix» (0.996; 0.983), and «Violar» (0.986; 0.988) respectively.

Key words: *Glycine max* L. Merr., organic farming, inoculation, leaf area, photosynthetic pigments, weather conditions.



Copyright: Чайка Т.О., Короткова І.В. © 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:

Чайка Т.О.

Короткова І.В.

<https://orcid.org/0000-0002-5980-7517><https://orcid.org/0000-0003-0577-9634>