

## ФОТОСИНТЕТИЧНА ПРОДУКТИВНІСТЬ ПОСІВУ СОЇ (*GLYCINE MAX L.*) ЗА РІЗНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ ТА ПЕРЕДПОСІВНОГО ОБРОБЛЕННЯ НАСІННЯ

А.В. Голодна, Я.В. Грицюк

ННЦ «ІЗ НААН» (с-ще Чабани, Фастівський р-н, Київська обл., Україна)

e-mail: [ant.golodna@gmail.com](mailto:ant.golodna@gmail.com); ORCID: 0000-0002-7775-8229

e-mail: [hrytsiuk.yaroslav@gmail.com](mailto:hrytsiuk.yaroslav@gmail.com); ORCID: 0009-0007-9301-6990

*Мета досліджень* — визначити вплив основного удобрення, позакореневого підживлення орґано-мінеральним добривом у критичні періоди розвитку рослин сої, передпосівного оброблення насіння мікоризоутворювальним біопрепаратом, а також мікоризоутворювачем у поєднанні з протруйником на динаміку накопичення сухої речовини рослинами та чисту продуктивність фотосинтезу посіву сої. Використовували такі методи: польовий (для вивчення взаємодії об'єкта досліджень із біотичними та абіотичними чинниками); морфологічний (для біологічного контролю за розвитком елементів продуктивності за етапами органогенезу); статистичний (статистична обробка результатів досліджень). Представлені результати досліджень стосовно накопичення сухої речовини рослинами сої та чистоті продуктивності фотосинтезу посіву за фазами росту й розвитку рослин, розраховано рівняння залежності врожайності насіння сої від показників накопичення рослинами сухої маси у фазі наливу бобів. У сучасних умовах ведення сільського господарства з метою отримання максимального врожаю насіння технологія вирощування повинна включати агрозаходи, спрямовані на забезпечення біологічних потреб рослини впродовж періоду вегетації та зменшення впливу несприятливих зовнішніх чинників. Для формування максимального в досліді врожаю насіння сої сорту Муза оптимальними умови склалися за технології вирощування, яка передбачала внесення  $N_{15}P_{45}K_{60} + N_{30}$ , передпосівне оброблення насіння мікоризоутворювачем у поєднанні з протруйником, а також позакоренеve підживлення орґано-мінеральним добривом у фазі гілкування, чи бутонізації, коли відбувається формування рослинами квіток, бобів і насінин у бобі. За поєднання вказаних агрозаходів рослини накопичують суху масу у фазі наливу бобів 25,9–27,4 г/роsl., забезпечуючи чисту продуктивність фотосинтезу посіву в указаний період розвитку 5,60–6,10 г/м<sup>2</sup>×добу за показників на абсолютному контролі відповідно 20,8 г/роsl. та 5,46 г/м<sup>2</sup>×добу.

**Ключові слова:** мікоризоутворювач, мінеральне добриво, орґано-мінеральне мікродобриво, позакоренеve підживлення, протруйник, фази росту та розвитку, чиста продуктивність фотосинтезу посіву.

### ВСТУП

В Україні через військові дії відбулося зменшення площі ріллі на 25%, проте посівні площі сої зростали і в у 2022 р. становили 1538 тис. га, у 2023 р. — зросли до 1796 тис. га, що дало можливість збільшити валовий збір насіння до 4,82 млн т [1]. Завдяки існуючому значному експорту сої та внутрішньому попиту на насіння й продукти його переробки, в наступному сільськогосподарському сезоні очікується подальше збільшення площі під культурою.

**Мета дослідження** — визначити вплив варіантів основного удобрення, позакоре-

невого підживлення орґано-мінеральним добривом у критичні періоди розвитку рослин сої, передпосівного оброблення насіння мікоризоутворювальним біопрепаратом, а також мікоризоутворювачем із протруйником на процес накопичення орґанічної речовини рослинами, а також одиницею площі листової поверхні посіву сої за певний проміжок часу — чисту продуктивність фотосинтезу. Аналіз отриманих закономірностей за різних досліджуваних агрозаходів дає можливість визначити оптимальний варіант моделі технології вирощування культури та розробити заходи, які позитивно впливатимуть на ріст

і розвиток рослин, забезпечуючи стабільну максимальну реалізацію генетичного потенціалу продуктивності сортів культури.

### АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

В умовах змін клімату, які відмічає людство в останні десятиліття, відчутними є дефіцит вологи та зміна середньодобових температур повітря [2–5]. Тобто, погодні умови сьогодення не завжди сприятливі для ефективного функціонування агроєко-систем та продуктивності агрокультур [3; 5; 6]. Технології вирощування сільськогосподарських культур потребують детального переосмислення з метою пристосування до мінливих умов та забезпечення екологічної безпеки, адже лише сорти з високим рівнем адаптивності здатні в умовах змін клімату реалізувати свій біологічний потенціал [7]. Тому постійно проводяться дослідження та розробляються екологічно безпечні технології вирощування сільськогосподарських культур із використанням біологічних препаратів, регуляторів росту рослин, нових органіко-мінеральних добрив та ін., а також удосконалюються технологічні прийоми їх застосування.

Важливою стратегічною культурою в Україні та світі є соя (*Glycine max* L.), яка має багатовекторне застосування, що визначає постійно зростаючий попит на цю культуру. За даними ФАО в 2021–2022 рр. сою вирощували на площі 127,70 млн га з річним виробництвом 363,57 млн т і середньою продуктивністю 2,85 т/га [8]. Глобальна зацікавленість у збільшенні виробництва сої визначає актуальність безперервних досліджень для оптимізації найбільш прийнятних агрономічних методів її вирощування.

Для збільшення виробництва сої застосовують різноманітні сучасні методи сільськогосподарства. Важливим аспектом підвищення продуктивності сої є широке впровадження нових сортів із високим потенціалом продуктивності та стійкості до впливу різних чинників, удосконалення елементів технології вирощування, як-от система удобрення та підживлення, захист

рослин від шкідливих організмів та ін. [9]. Також ефективним і екологічно безпечним агрозаходом підвищення врожайності та валових зборів зерна сої є інокуляція насіння активними штамми мікроорганізмів [10; 11], магнітопраймування (обробка насіння магнітним полем) [12], фоліарна обробка рослин [13–15] та ін. Результатами багатьох досліджень доведено, що застосування біопрепаратів на сої є ефективним заходом зростання врожайності та стійкості рослин до біотичних і абіотичних стресів [10; 13–16].

Фотосинтетична активність посівів будь-якої культури є складовою закладення її продуктивності, адже понад 90% урожаю рослини формують за її рахунок [16–18]. Вважають, що продуктивність фотосинтезу є важливим показником через його сильну негативну кореляцію з різними екологічними стресами [19–21].

Рекомендовані для вирощування сорти сої мають високий потенціал продуктивності, що дає змогу отримати відповідну господарську врожайність і значний валовий збір культури, проте у виробничих умовах його реалізація залишається низькою та нестабільною за роками [9; 22].

Тому важливим завданням технології вирощування є створення оптимальних умов для росту і розвитку рослин, під час якого посіви найбільш ефективно використовували б сонячну енергію для накопичення сухої маси, що відіграє важливу роль у формуванні господарсько-цінного врожаю. За характером зміни цього показника впродовж періоду вегетації культури можливо визначити, наскільки сприятливими були умови зовнішнього середовища для рослин та визначити реакцію на агрозаходи, що вивчали. Важливим залишається питання накопичення сухої речовини рослинами сої в динаміці, чистої продуктивності фотосинтезу, що безпосередньо висвітлює проходження процесу формування врожаю та значно впливає на його рівень.

### МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження з вивчення впливу різних доз мінеральних добрив за основного

внесення, позакореневого підживлення органо-мінеральним, а також сівбу насінням, обробленим мікоризоутворювальним препаратом та його поєднання з протруйником на ріст, розвиток рослин і формування продуктивності соєю проводили впродовж 2021–2023 рр. у стаціонарному досліді ННЦ «ІЗ НААН».

*Предмет дослідження* – середньоранній сорт сої Муза селекції ННЦ «ІЗ НААН», занесений до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні, для вирощування в зонах Лісостепу та Полісся у 2015 р. Норма висіву – 750 тис. схожих насінин/га.

*Технологія вирощування* – загальноприйнята для зони проведення досліджень, за виключенням досліджуваних агрозаходів.

*Агрохімічна характеристика темно-сірого опідзоленого ґрунту дослідної ділянки:* вміст гумусу – 1,49–1,71%, вміст лужно-гідролізованого азоту (за Корнфілдом) – 68,6–78,4 мг N/кг ґрунту (дуже низький рівень), рухомого фосфору (за Чириковим) – 140–160 мг/кг ґрунту (високий рівень), рухомого калію (за Чириковим) – 55–70 мг/кг ґрунту (середній рівень) [23]. Реакція ґрунтового середовища слабкокисла (рН<sub>сол.</sub> 5,2–5,7).

Дослідження проводили за схемою:

- *фактор А (удобрення):* без добрив (контроль), P<sub>45</sub>K<sub>60</sub>, N<sub>15</sub>P<sub>45</sub>K<sub>60</sub>+N<sub>30</sub> у фазі бутонізації, N<sub>45</sub>P<sub>45</sub>K<sub>60</sub>;

- *фактор В (передпосівне оброблення насіння):* без оброблення (контроль), мікоризоутворювальним біопрепаратом Мікофренд (1 л/т насіння), мікоризоутворювальним біопрепаратом Мікофренд у поєднанні з фунгіцидним протруйником Вайбранс RFC, ТН (по 1 л/т насіння);
- *фактор С (позакоренево підживлення рослин):* висіяних насінням, обробленим Мікофренд+Вайбранс, органо-мінеральним добривом Хелпрост Соя (2 л/га) у фазі гілкування, бутонізації та цвітіння.

Повторність дослідів – чотириразова. Загальна площа під дослідом – 0,6 га, облікової ділянки – 50 м<sup>2</sup>.

Методи досліджень – загальноприйняті для польових дослідів і лабораторних аналізів. Закладання польових дослідів та виконання досліджень проводили з урахуванням вимог методики дослідної справи [24].

Погодні умови вегетаційного періоду 2021–2023 рр. різнилися як за роками досліджень, так і порівняно з середньобогаторічними значеннями (*табл. 1*).

Не зважаючи на строкатість погодних умов за роками, їх відхилення від середніх багаторічних значень в окремі періоди росту і розвитку рослин сої, отримані результати дали можливість оцінити закономірності впливу агрозаходів, які вивчали у досліді та є достовірними.

Таблиця 1. Метеорологічні умови за періоди вегетації сої, 2021–2023 рр.

Місяць	Декада	Середньодобова температура повітря, °С				Опади, мм			
		середня			багаторічна	сума			багаторічна
		2021	2022	2023		2021	2022	2023	
Квітень	I	6,39	6,41	8,00	7,2	8,4	12,6	43,0	15,0
	II	9,24	6,87	9,69	8,2	22,2	4,0	29,6	19,0
	III	8,72	11,58	11,50	10,8	6,4	8,4	2,6	15,0
	Середнє	8,12	8,29	9,73	10,0	37,0	25,0	75,2	42,0
Травень	I	12,43	13,62	12,14	14,2	11,8	0	0,4	15,9
	II	15,33	14,49	17,97	15,8	13,4	9,4	0	20,0
	III	16,33	14,27	19,12	17,2	37,6	18,6	0	29,1
	Середнє	14,70	14,13	16,08	15,8	62,8	28,0	0,4	65,0

Місяць	Декада	Середньодобова температура повітря, °С				Опади, мм			
		середня			багато-річна	сума			багато-річна
		2021	2022	2023		2021	2022	2023	
Червень	I	17,47	21,67	19,83	18,6	13,2	8,0	21,0	23,8
	II	22,04	21,68	20,10	19,9	3,2	3,6	10,2	25,1
	III	25,01	21,97	20,62	19,8	3,8	18,6	19,4	25,1
	Середнє	21,51	21,78	20,18	19,5	20,2	30,2	50,6	74,0
Липень	I	24,23	22,55	22,62	20,6	22,4	17,6	31,8	23,0
	II	26,48	17,85	22,51	21,2	21,2	23,0	61,0	20,0
	III	24,23	23,00	21,67	22,0	4,4	1,0	44,0	25,0
	Середнє	24,40	20,20	21,93	21,3	48,0	41,6	136,8	68,0
Серпень	I	22,48	21,49	22,79	21,8	22,0	17,4	12,8	21,0
	II	21,98	22,27	24,98	20,6	5,2	16,0	0,8	20,0
	III	19,67	23,64	24,51	19,0	57,6	0	0,4	15,0
	Середнє	21,33	21,91	24,09	20,4	84,8	33,4	14,0	56,0
Вересень	I	14,5	13,73	18,45	16,7	1,8	16,8	0	20,0
	II	16,1	12,71	18,52	15,1	5,4	27,6	10,4	18,0
	III	9,8	11,58	19,70	12,9	9,2	20,3	0	20,0
	Середнє	12,0	11,54	18,89	14,9	16,4	64,7	10,4	58,0

### РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Накопичення органічної речовини є результатом складних процесів, що відбуваються у рослинах. Створення оптимальних умов для їх росту та розвитку сприяє формуванню більшої кількості органічної маси, її перерозподілу по органах рослини, та істотно впливає на чисту продуктивність фотосинтезу посіву загалом, що в результаті відображається на рівні врожаю культури.

Як свідчить аналіз отриманих у 2021–2023 рр. результатів, досліджувані агрозаходи значно позначилися щодо процесу накопичення рослинами сухої маси (табл. 2).

На початкових етапах розвитку, у фазі першого трійчастого листка кількість накопиченої рослинами сухої маси була незначною — лише 0,7–1,0 г/росл. Чіткої залежності впливу взятих для дослідження агрозаходів на рівень показника в цей період не спостерігали.

До фази бутонізації суха маса рослин збільшувалась у 3,4–3,7 раза і становила від 2,4 до 3,7 г/росл. У цей період відмічали залежність рівня показника від досліджуваних агрозаходів. На варіантах із внесенням мінеральних добрив кількість накопиченої сухої маси була на 0,4–0,6 г/росл., або на 14,3–21,4% більшою за рівня показника на контрольному варіанті, який не передбачав застосування мінеральних добрив — 2,8 г/росл. Передпосівне оброблення насіння сприяло зростанню маси сухої речовини на 0,3–0,4 г/росл., або 11,1–14,8%, за показника на контрольному варіанті без оброблення насіння 2,7 г/росл. Передпосівне оброблення насіння мікорізоутворювальним препаратом та протруйником із позакореневим підживленням орґано-мінеральним добривом позитивно впливало на підвищення показника на 0,6–0,8 г/росл., або 22,2–29,6%, порівняно з контрольним варіантом.

До фази цвітіння суха маса рослин збільшувалась у 9,7–12,6 раза, порівня-

Таблиця 2. Накопичення сухої маси рослинами сої залежно від удобрення та передпосівного оброблення насіння, середнє за 2021–2023 рр., г/росл.

Удобрення	Фаза розвитку рослин	Оброблення насіння			Оброблення насіння (мікоризоутворювач + протруйник) + позакореневе підживлення у фазі:		
		без оброблення (контроль)	мікоризоутворювач	мікоризоутворювач + протруйник	гілкування	бутонізації	цвітіння
Без добрив (контроль)	1-й трійчастий листок	0,7	0,9	0,7	0,9	0,8	0,7
	Бутонізація	2,4	2,5	2,8	3,0	3,3	3,0
	Цвітіння	8,8	9,0	9,2	10,2	10,1	11,4
	Налив бобів	20,8	22,0	22,3	23,1	23,0	23,4
P <sub>45</sub> K <sub>60</sub>	1-й трійчастий листок	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	1,0
	Бутонізація	2,6	3,0	3,1	3,2	3,4	3,6
	Цвітіння	9,5	10,0	10,2	10,9	10,2	11,6
	Налив бобів	21,3	23,2	23,1	23,9	24,5	24,6
N <sub>15</sub> P <sub>45</sub> K <sub>60</sub> + N <sub>30</sub>	1-й трійчастий листок	0,9	0,9	0,8	0,9	0,8	0,8
	Бутонізація	2,7	3,0	3,2	3,4	3,6	3,7
	Цвітіння	9,9	10,0	10,7	10,4	11,0	11,2
	Налив бобів	23,8	25,9	25,2	26,2	25,9	27,4
N <sub>45</sub> P <sub>45</sub> K <sub>60</sub>	1-й трійчастий листок	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0
	Бутонізація	3,2	3,4	3,2	3,7	3,2	3,5
	Цвітіння	12,0	12,1	12,3	12,2	12,6	12,5
	Налив бобів	24,0	26,2	25,0	26,9	26,8	29,2
V, %	1-й трійчастий листок	10,2	6,8	10,2	5,7	6,1	17,1
	Бутонізація	12,5	12,4	6,2	9,0	5,1	9,0
	Цвітіння	13,7	12,7	12,2	8,2	10,5	4,9
	Налив бобів	7,4	8,4	6,0	7,2	6,6	10,1

но з фазою першого трійчастого листка і становила 6,8–12,6 г/росл. Внесені мінеральні добрива слугували накопиченню сухої речовини на 0,4–2,3 г/росл., або 4,0–23,0% більше, порівняно з варіантами без їх застосування, де показник сягав 10,0 г/росл. За передпосівного оброблення насіння сої відмічали зростання показника на 0,7–1,0 г/росл., або 7,3–10,4%, порівняно з варіантами без проведення агрозаходу (9,6 г/росл.). За сівби насінням, обробленим мікоризоутворювачем і протруйником, та проведенням позакореневого підживлення органомінеральним добривом суха маса рослин збільшилась на 1,3–2,1 г/росл., або 13,5–21,9%, порівняно з контрольним варіантом.

У фазі наливу бобів накопичена суха маса рослин сої перевищувала показники у фазі першого трійчастого листка у 29,2–29,7 рази і становила від 20,8 до 29,2 г/росл. На варіантах із внесенням мінеральних добрив спостерігали збільшення накопичення сухої маси на 1,0–4,0 г/росл., або на 4,5–17,9%, порівняно з контрольним варіантом, який не передбачав їх застосування – 22,4 г/росл. Оброблення насіння лише мікоризоутворювачем сприяло зростанню рівня показника на 1,8, мікоризоутворювачем з протруйником – на 1,4 г/росл., або на 8,0 і 6,2%, порівняно з варіантом без проведення агрозаходів (22,5 г/росл.). На варіантах, які передбачали оброблення насіння мікоризоутво-

рьювачем з протруйником, а також позакоренеve підживлення органо-мінеральним добривом, рослини накопичували на 2,5–3,7 г/роsl., або 11,1–16,4% більше сухої речовини, порівняно з варіантами, які не передбачали проведення вказаних агрозаходів.

Максимальні показники сухої маси однієї рослини в досліді – 26,8–29,2 г/роsl., відмічали на варіантах зі внесенням N<sub>45</sub>P<sub>45</sub>K<sub>60</sub>, сівбою насінням, обробленим мікоризоутворювальним біопрепаратом і протруйником, та проведенням позакореневого підживлення органо-мінеральним добривом у фазі наливу бобів. Дещо менші показники (25,2–27,4 г/роsl.) формувалися на варіантах зі внесенням N<sub>15</sub>P<sub>45</sub>K<sub>60</sub> + N<sub>30</sub>.

Показник чистої продуктивності фотосинтезу посіву характеризує інтенсивність накопичення органічної речовини одиницею площі листової поверхні за певний проміжок часу, та значною мірою визначає рівень сформованого врожаю. Як свідчать отримані результати досліджень, показники чистої продуктивності фотосинтезу посіву істотно різнилися залежно від досліджуваних агрозаходів (табл. 3).

В агроценозі культури показник знаходиться в складній функціональній залежності від фази розвитку, асимілюючої поверхні та ступеня оптимізації умов вирощування [18].

У міжфазний період від першого трійчастого листка до бутонізації показник чистої продуктивності фотосинтезу зна-

**Таблиця 3. Чиста продуктивність фотосинтезу посіву сої залежно від удобрення та передпосівного оброблення насіння, середнє за 2021–2023 рр., г/м<sup>2</sup>×добу**

Удобрення	Міжфазний період	Оброблення насіння			Оброблення насіння (мікоризоутворювач + протруйник) + позакоренеve підживлення у фазі:		
		без оброблення (контр-роль)	мікоризоутворювач	мікоризоутворювач + протруйник	гілкування	бутонізації	цвітіння
Без добрив (контр-роль)	1-й трійчастий листок–бутонізація	4,54	4,58	4,71	4,82	5,17	4,93
	Бутонізація–цвітіння	7,34	7,32	7,51	7,91	7,65	8,86
	Цвітіння–налив бобів	5,46	5,58	5,51	5,17	5,19	4,63
P <sub>45</sub> K <sub>60</sub>	1-й трійчастий листок–бутонізація	4,88	5,09	4,88	5,27	4,58	5,08
	Бутонізація–цвітіння	8,41	8,32	8,00	7,88	7,28	8,25
	Цвітіння–налив бобів	4,90	5,42	5,22	5,08	5,50	4,93
N <sub>15</sub> P <sub>45</sub> K <sub>60</sub> + N <sub>30</sub>	1-й трійчастий листок–бутонізація	3,71	5,25	4,97	4,88	5,67	5,72
	Бутонізація–цвітіння	7,95	7,77	8,07	7,54	7,77	7,60
	Цвітіння–налив бобів	5,64	6,43	5,68	6,10	5,60	5,99
N <sub>45</sub> P <sub>45</sub> K <sub>60</sub>	1-й трійчастий листок–бутонізація	5,22	5,15	4,52	5,34	6,21	4,57
	Бутонізація–цвітіння	10,25	9,31	11,29	8,52	9,53	8,87
	Цвітіння–налив бобів	4,82	5,47	4,74	5,49	5,32	6,13
V, %	1-й трійчастий листок–бутонізація	14,10	6,00	4,20	5,20	12,90	9,50
	Бутонізація–цвітіння	14,80	10,50	19,90	5,10	12,50	7,20
	Цвітіння–налив бобів	9,20	8,30	7,80	8,50	3,40	13,90

ходився у межах від 3,61 до 6,21 г/м<sup>2</sup>×добу. Внесення мінеральних добрив сприяло зростанню показника у середньому на 0,83–1,04 г/м<sup>2</sup>×добу за його рівня на варіантах без внесення добрив 4,13 г/м<sup>2</sup>×добу, або на 20,1–25,2%. Передпосівне оброблення насіння мікоризоутворювачем та мікоризоутворювачем із протруйником сприяло збільшенню показника на 1,43 і 1,18 г/м<sup>2</sup>×добу, або 39,8 і 32,9%, порівняно з його рівнем у варіантах без оброблення насіння (3,59 г/м<sup>2</sup>×добу).

У міжфазний період від бутонізації до цвітіння відмічали зростання чистої продуктивності фотосинтезу посіву в 1,6–1,8 раза, порівняно з попереднім періодом. Рівень показника був максимальним і знаходився у межах від 7,28 до 11,29 г/м<sup>2</sup>×добу. Інтенсивність накопичення органічної речовини у вказаний міжфазний період значно залежала від норми мінеральних добрив. У варіантах зі внесенням лише фосфорних і калійних добрив у нормі P<sub>45</sub>K<sub>60</sub> кг/га д. р. відзначали збільшення показника на 0,25 г/м<sup>2</sup>×добу, або на 3,2%, порівняно з варіантом без внесення добрив, де його рівень становив 7,77 г/м<sup>2</sup>×добу. За норми добрив N<sub>15</sub>P<sub>45</sub>K<sub>60</sub> + N<sub>30</sub> кг/га д. р. показник чистої продуктивності фотосинтезу посіву формувался у середньому на рівні варіанта без застосування добрив. Це можливо пояснити тим, що внесення азотних добрив у фазі бутонізації стимулювало інтенсифікацію процесів росту і розвитку рослин сої, а не накопичення органічної речовини. У варіантах із внесенням N<sub>45</sub>P<sub>45</sub>K<sub>60</sub> спостерігали зростання показника на 1,86 г/м<sup>2</sup>×добу, або 23,9%, порівняно з варіантами без добрив. У вказаний період передпосівне оброблення насіння та проведення позакореневого підживлення рослин не сприяли інтенсифікації процесу накопичення органічної речовини, про що свідчать отримані результати досліджень. Виключенням був лише варіант із передпосівним обробленням насіння мікоризоутворювачем у поєднанні з протруйником, де виявляли збільшення показника на 0,23 г/м<sup>2</sup>×добу, або 2,7% за його рівня на варіанті без оброблення насіння 8,49 г/м<sup>2</sup>×добу.

У міжфазний період цвітіння — налив бобів рівень показника чистої продуктивності посіву знизився у 0,6–0,8 раза, порівняно з періодом бутонізація — цвітіння і знаходився у межах від 4,63 до 6,13 г/м<sup>2</sup>×добу. Інтенсивність накопичення органічної речовини значно залежала від норми добрив, внесених під культуру. На варіантах зі внесенням P<sub>45</sub>K<sub>60</sub> відмічали зниження рівня показника на 0,08 г/м<sup>2</sup>×добу, або на 1,5% за показника на варіанті без добрив 5,26 г/м<sup>2</sup>×добу, що можливо пояснити незбалансованістю живлення рослин. На варіантах зі внесенням N<sub>45</sub>P<sub>45</sub>K<sub>60</sub> відзначали зростання показника чистої продуктивності фотосинтезу посіву лише на 0,07 г/м<sup>2</sup>×добу, або 1,3%, а зі внесенням N<sub>15</sub>P<sub>45</sub>K<sub>60</sub> + N<sub>30</sub> — на 0,65 г/м<sup>2</sup>×добу, або 12,4%, порівняно з варіантом без добрив. Передпосівне оброблення насіння у вказаний міжфазний період позитивно вплинуло на зростання показника на 0,08–0,52 г/м<sup>2</sup>×добу, або 1,5–10,0%, передпосівне оброблення з подальшим позакореневим підживленням — на 0,19–0,25 г/м<sup>2</sup>×добу, або 3,6–4,8%, порівняно з варіантом без оброблення насіння (5,21 г/м<sup>2</sup>×добу).

Значення показника чистої продуктивності фотосинтезу посіву 4–6 г/м<sup>2</sup>×добу вважається середнім, можливо отримати показник на рівні 15–20 г/м<sup>2</sup>×добу, а теоретично він може сягати навіть 35 г/м<sup>2</sup>×добу [25].

Аналіз отриманих результатів свідчить, що посів сої у середньому за роки досліджень у міжфазні періоди перший трійчастий листок — бутонізація та цвітіння — налив бобів забезпечив формування показника чистої продуктивності фотосинтезу посіву на рівні середнього, у міжфазний період бутонізація — цвітіння — високого значення.

Максимальні показники чистої продуктивності фотосинтезу посіву в досліді у міжфазні періоди перший трійчастий листок — бутонізація та бутонізація — цвітіння відмічали за внесення N<sub>45</sub>P<sub>45</sub>K<sub>60</sub>. На варіантах, які передбачали перенесення частини норми азотних добрив у підживлення (N<sub>15</sub>P<sub>45</sub>K<sub>60</sub> + N<sub>30</sub>), найвищими показники

були у міжфазний період цвітіння — налив бобів, що пояснюється подовженням періоду функціонування листкового апарату рослин.

Проведений регресійний аналіз залежності врожайності від кількості накопиченої рослинами сухої маси за фазами росту та розвитку підтвердив максимальну залежність рівня врожаю від показників у фазі наливу бобів. Розраховане рівняння залежності врожайності насіння сої від показників сухої маси, накопиченої рослинами, має вигляд:

$$Y = -3,0729 + 0,4383X - 0,0071X^2,$$

де  $Y$  — урожайність насіння сої, т/га;  $X$  — суха маса, г/росл.,  $m^2/m^2$ .

Множинний коефіцієнт кореляції становив  $R=0,88$ , коефіцієнт детермінації —  $D=77,44\%$ . Рівняння достовірне за критерієм Фішера ( $F$ ), оскільки  $F_{\text{факт.}}$  (36,03) значно вище табличного його значення ( $F_{\text{табл.}}=3,47$ ).

Тіснота зв'язку врожайності з чистою продуктивністю фотосинтезу посіву не дає можливості провести розрахунок рівняння регресії, тому що кореляційний зв'язок у міжфазні періоди варіював від слабкого до середнього (1-й трійчастий листок — бутонізація —  $r=0,534$ , бутонізація — цвітіння —  $r=0,083$ , цвітіння — налив бобів —  $r=0,367$ ).

## ВИСНОВКИ

З метою максимальної реалізації потенціалу продуктивності сортів сої, отримання

високого рівня врожаю в умовах Північного Лісостепу України, технологія вирощування має бути спрямована на забезпечення біологічних потреб рослин упродовж періоду вегетації, зменшення негативного впливу зовнішніх чинників на ріст, розвиток і формування врожаю. Обов'язковими є такі агрозаходи, як застосування мінеральних добрив, сівба насінням, обробленим мікоризоутворювальним препаратом і протруйником, позакореневе підживлення орґано-мінеральним добривом у період генеративного розвитку культури. Найвищий рівень показників накопичення сухої маси рослинами в досліді — 26,8–29,2 г/росл., відзначали у фазі наливу бобів на варіантах зі внесенням  $N_{45}P_{45}K_{60}$ , сівбою насінням, обробленим мікоризоутворювальним біопрепаратом і протруйником, та проведенням позакореневого підживлення орґано-мінеральним добривом у фазі бутонізації та цвітіння. За внесення  $N_{15}P_{45}K_{60} + N_{30}$  показники становили 25,2–27,4 г/росл. за рівня на абсолютному контролі 20,8 г/росл.

Максимальні показники чистої продуктивності посіву (5,60–6,10 г/ $m^2$ ×добу за рівня 5,46 г/ $m^2$ ×добу на абсолютному контролі) спостерігали на варіантах технології вирощування зі внесенням  $N_{15}P_{45}K_{60} + N_{30}$ , сівбою насінням, обробленим мікоризоутворювачем у поєднанні з протруйником, а також позакореневим підживленням орґано-мінеральним добривом у період генеративного розвитку рослин сої.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Державна служба статистики України. URL: <http://ukrstat.gov.ua>.
2. IPCC. Global warming of 1.5°C. Summary for Policy Makers. Switzerland: World Meteorological Organization, United Nations Environment Program, and Intergovernmental Panel on Climate Change. Bern. 2019. URL: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15\\_Full\\_Report\\_High\\_Res.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_High_Res.pdf).
3. Bibi F. and Rahman A. An Overview of Climate Change Impacts on Agriculture and Their Mitigation Strategies. *Agriculture*. 2023. Vol. 13 (8). 1508. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13081508>.
4. Степаненко С.М., Польовий А.М., Дем'янюк О.С., Дронова О.О. Зміна режиму опадів в Україні. *Агро-екологічний журнал*. 2014. № 2. С. 10–16.
5. Crop production and climate change. 2021. URL: <http://www.fao.org/climate-smart-agriculture-sourcebook/production-resources/module-b1-crops/chapter-b1-1/en/>.
6. Камінський В.Ф., Голодна А.В., Дворецька С.П. та ін. Особливості вирощування зернобобових культур в Лісостепу: науково-методичні рекомендації. Вінниця: ТОВ «Твори», 2020. 108 с.
7. Січкач В.І. Ефективніше використовувати сортовий потенціал сої — потреба сьогодення. *Посібник українського хлібороба: науково-практичний збірник Інституту рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН. Т. 2: Зернобобові та бобові кормові культури в контексті відновлення агроценозів*. Київ: ФОП Коношенко І.П., 2013. С. 146–150.



8. FAOStat. 2022. FAO Stat. FAO, Rome. URL: <http://www.fao.org/faostat>.
9. Прус Л.І. Вплив агротехнічних заходів на продуктивність сої. *Агроекологічний журнал*. 2017. № 1. С. 62–67. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2017.221002>.
10. Gumeniuk I., Symochko L., Mostoviak I. et al. The role of *Bradyrhizobium japonicum* exopolysaccharides in the formation of an effective symbiotic apparatus of soybean. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science*. 2022. Vol. 12 (4). P. 1–12. DOI: <https://doi.org/10.31407/ijees12.4>.
11. Gumeniuk I.I., Levishko A.S., Demyanyuk O.S. and Sherstoboeva O.V. Properties of microorganisms isolated from soils under conventional and organic farming. *Microbiological journal*. 2022. Vol. 84 (2). P. 12–23. DOI: <https://doi.org/10.15407/microbiolj84.02.012>.
12. Joshi-Paneri J., Sharma S., Guruprasad K.N. and Kataria S. Enhancing the Yield Potential of Soybean after Magneto-Priming: Detailed Study on Its Relation to Underlying Physiological Processes. *Seeds*. 2023. Vol. 2 (1). P. 60–84. DOI: <https://doi.org/10.3390/seeds2010006>.
13. Korobko A., Kravetz R., Mazur O. et al. Nitrogen-Fixing Capacity of Soybean Varieties Depending on Seed Inoculation and Foliar Fertilization with Biopreparations. *Journal of Ecological Engineering*. 2024. Vol. 25(4). P. 23–37. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/183497>.
14. Дем'янюк О.С., Гаврилюк Л.В., Безноско І.В. Ефективність біопрепарату філазоніт на вегетативних органах рослин різних сортів сої. *Збалансоване природокористування*. 2022. № 1. С. 82–89. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.1.2022.255226>.
15. Бойко А.Л., Адамчук В.В., Литвинюк Л.К. та ін. Дослідження впливу повторного внесення біопрепарату Біоекофунг-3 на врожайність соняшнику та сої. *Механізація та електрифікація сільськогосподарства. Загальнодержавний збірник*. 2022. Вип. 15 (114). С. 57–63. DOI: <https://doi.org/10.37204/0131-2189-2022-15-6>.
16. Гарбар Л.А., Довбаш Н.І., Венгер В.В. Формування продуктивності сої за впливу дії інокуляції, удобрення, стимуляторів росту. *Аграрні інновації*. 2022. № 14. С. 12–17. DOI: <https://doi.org/10.32848/agraf.innov.2022.14.2>.
17. Байда М.П. Ефективність фотосинтезу сої залежно від впливу елементів технології вирощування. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2021. Вип. 29. С. 129–138. DOI: <https://doi.org/10.47414/nr.29.2021.249939>.
18. Чинчик О.С., Оліфірович С.Й. Фотосинтетична продуктивність посівів сої залежно від впливу елементів технології вирощування. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2023. Вип. 1(38). С. 55–63. DOI: <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2023-1.8>.
19. Yao X., Zhou H., Zhu Q. et al. Photosynthetic response of soybean leaf to wide light-fluctuation in maize-soybean intercropping system. *Front. Plant Sci*. 2017. Vol. 8. 1695. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01695>.
20. Singh S.K. and Reddy V.R. Co-regulation of photosynthetic processes under potassium deficiency across CO<sub>2</sub> levels in soybean: mechanisms of limitations and adaptations. *Photosynth. Res*. 2018. Vol. 137. P. 183–200. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11120-018-0490-3>.
21. Poorter H., Knopf O., Wright I.J. et al. A meta-analysis of responses of C3 plants to atmospheric CO<sub>2</sub>: dose–response curves for 85 traits ranging from the molecular to the whole-plant level. *New Phytol*. 2022. Vol. 233. P. 1560–1596. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.17802>.
22. Рибальченко А.М. Особливості формування сортових ресурсів та урожайності сої в Україні. *Вісник Полтавської державної академії*. 2022. № 3. С. 18–25.
23. ДСТУ 4362:2004. Якість ґрунту. Показники родючості ґрунтів. [Чинний від 2004–12–09]. Вид. офіц. Київ: Держживстандарт України, 2005. 19 с.
24. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. Колос, 1979. 416 с.
25. Гангур В.В., Єремко Л.С., Саєнко В.О. Динаміка формування листкової поверхні чини посівної та продуктивності її фотосинтетичної діяльності залежно від рівня мінерального живлення. *Аграрні інновації*. 2021. № 8. С. 23–28. DOI: <https://doi.org/10.32848/agraf.innov.2021.8.3>.

## REFERENCES

1. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy [State Statistics Service of Ukraine]. (n.d.). URL: <http://ukrstat.gov.ua> [in Ukrainian].
2. IPCC. (2019). Global warming of 1.5°C. Summary for Policy Makers. Switzerland: World Meteorological Organization, United Nations Environment Program, and Intergovernmental Panel on Climate Change. Bern. URL: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15\\_Full\\_Report\\_High\\_Res.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_High_Res.pdf) [in English].
3. Bibi, F. & Rahman, A. (2023). An Overview of Climate Change Impacts on Agriculture and Their Mitigation Strategies. *Agriculture*, 13 (8), 1508. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13081508> [in English].
4. Stepanenko, S.M., Polovyi, A.M., Demyanyuk, O.S. & Dronova, O.O. (2014). Zmina rezhymu opadiv v Ukraini [Changes in the precipitation regime in Ukraine]. *Ahroekologichnyi zhurnal — Agroecological journal*, 2, 10–16 [in Ukrainian].
5. Crop production and climate change. (2021). URL: <http://www.fao.org/climate-smart-agriculture-sourcebook/production-resources/module-b1-crops/chapter-b1-1/en/> [in English].
6. Kaminskyi, V.F., Holodna, A.V., Dvoretzka, S.P. et al. (2020). *Osoblyvosti vyroshchuvannya zernobobovykh kultur v Lisostepu: nauково-metodychni rekomendatsii [Peculiarities of growing leguminous crops in the forest-steppe: scientific and methodical recommendations]*. Vinnytsia: TOV «Tvorы» [in Ukrainian].

7. Sichkar, V.I. (2013). Efektyvnishe vykorystovuvaty sortovyi potentsial soi — potreba pohodennia [More effective use of the varietal potential of soybeans is the need of today]. *Posibnyi ukrainskoho khliboroba: naukovo-praktychnyi zbirnyk Instytutu roslynnytstva im. V.Ia. Yuryeva NAAN [Ukrainian farmer's manual: scientific and practical collection of the Institute of plant breeding named after V.Ya. Yuryev of NAAS]*. (pp. 146–150). Kyiv [in Ukrainian].
8. FAOStat (2022). FAO Stat. FAO, Rome. URL: <http://www.fao.org/faostat> [in English].
9. Prus, L.I. (2017). Vplyv ahrotekhnichnykh zakhodiv na produktyvnist soi [The influence of agrotechnical measures on soybean productivity]. *Ahroekologichnyi zhurnal — Agroecological journal*, 1, 62–67. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2017.221002> [in Ukrainian].
10. Gumeniuk, I., Symochko, L., Mostoviyak, I. et al. (2022). The role of Bradyrhizobium japonicum exopolysaccharides in the formation of an effective symbiotic apparatus of soybean. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science*, 12 (4), 1–12. DOI: [10.31407/ijees12.4](https://doi.org/10.31407/ijees12.4) [in English].
11. Gumeniuk, I.I., Levishko, A.S., Demyanyuk, O.S. & Sherstoboeva, O.V. (2022). Properties of microorganisms isolated from soils under conventional and organic farming. *Microbiological journal*, 84 (2), 12–23. DOI: <https://doi.org/10.15407/microbiolj84.02.012> [in English].
12. Joshi-Paneri, J., Sharma, S., Guruprasad, K.N. & Kataria, S. (2023). Enhancing the Yield Potential of Soybean after Magneto-Priming: Detailed Study on Its Relation to Underlying Physiological Processes. *Seeds*, 2 (1), 60–84. DOI: <https://doi.org/10.3390/seeds2010006> [in English].
13. Korobko, A., Kravets, R., Mazur, O. et al. (2024). Nitrogen-Fixing Capacity of Soybean Varieties Depending on Seed Inoculation and Foliar Fertilization with Biopreparations. *Journal of Ecological Engineering*, 25 (4), 23–37. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/183497> [in English].
14. Demyanyuk, O.S., Havryliuk, L.V. & Beznosko, I.V. (2022). Efektyvnist biopreparatu filazonit na vchetatyvnykh orhanakh roslyn riznykh sortiv soi [Effectiveness of biological preparation Filazonite on vegetative organs of plants of different soybean varieties]. *Zbalsanovane pryrodokorystuvannia — Balanced nature using*, 1, 82–89. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.1.2022.255226> [in Ukrainian].
15. Boiko, A.L., Adamchuk, V.V., Lytvyniuk, L.K. et al. (2022). Doslidzhennia vplyvu povtornoho vnesennia biopreparatu Bioekofunhe-3 na vrozhaunist soniashnyku ta soi [Study of the effect of repeated application of biopreparation Bioecofunge-3 on the yield of sunflower and soybean]. *Mekhanizatsiia ta elektrifikatsiia silskoho hospodarstva — Mechanization and electrification of agriculture*, 15 (114), 57–63. DOI: <https://doi.org/10.37204/0131-2189-2022-15-6> [in Ukrainian].
16. Harbar, L.A., Dovbush, N.I. & Venher, V.V. (2022). Formuvannia produktyvnosti soi za vplyvu dii inokuliatitsii, udobrennna, stymuliatoru rostu [Formation of soybean productivity under the influence of inoculation, fertilization, growth stimulants]. *Ahrarni innovatsii — Agrarian innovations*, 14, 12–17. DOI: <https://doi.org/10.32848/agr.ar.innov.2022.14.2> [in Ukrainian].
17. Baida, M.P. (2021). Efektyvnist fotosyntezy soi zalezno vid vplyvu elementiv tekhnolohii vyroshchuvannia [The efficiency of soybean photosynthesis depends on the influence of elements of growing technology]. *Naukovi pratsi Instytutu bioenerhetychnykh kultur i tsukrovykh buriakiv — Scientific works of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 29, 129–138. DOI: <https://doi.org/10.47414/np.29.2021.249939> [in Ukrainian].
18. Chynchuk, O.S. & Olifirovych, S.J. (2023). Fotosyntetichna produktyvnist posiviv soi zalezno vid vplyvu elementiv tekhnolohii vyroshchuvannia [Photosynthetic productivity of soybean crops depending on the influence of elements of growing technology]. *Podilskyi visnyk: silske hospodarstvo, tekhnika, ekonomika — Podilian Bulletin: agriculture, engineering, economics*, 1 (38), 55–63. DOI: <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2023-1.8> [in Ukrainian].
19. Yao, X., Zhou, H., Zhu, Q. et al. (2017). Photosynthetic response of soybean leaf to wide light-fluctuation in maize-soybean intercropping system. *Front. Plant Sci*, 8, 1695. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01695> [in English].
20. Singh, S.K. & Reddy, V.R. (2018). Co-regulation of photosynthetic processes under potassium deficiency across CO<sub>2</sub> levels in soybean: mechanisms of limitations and adaptations. *Photosynth. Res.*, 137, 183–200. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11120-018-0490-3> [in English].
21. Poorter, H., Knopf, O., Wright, I.J. et al. (2022). A meta-analysis of responses of C3 plants to atmospheric CO<sub>2</sub>: dose–response curves for 85 traits ranging from the molecular to the whole-plant level. *New Phytol.*, 233, 1560–1596. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.17802> [in English].
22. Rybalchenko, A.M. (2022). Osoblyvosti formuvannia sortovykh resursiv ta urozhaunist soi v Ukraini [Peculiarities of the formation of varietal resources and yield of soybeans in Ukraine]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi akademii — Bulletin of the Poltava State Academy*, 3, 18–25 [in Ukrainian].
23. Yakist gruntu. Pokaznyky rodiuchosti gruntiv [Soil quality. Indicators of soil fertility]. (2005). *DSTU ISO 4362:2004 from 9<sup>th</sup> December 2004*. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy [in Ukrainian].
24. Dospokhov, B.A. (1979). *Metodika polevogo opyta [Methodology of field experience]*. Kyiv: Kolos [in Russian].
25. Hanhur, V.V., Yeremko, L.S. & Saienko, V.O. (2021). Dynamika formuvannia lystkovoi poverkhni chyny posivnoi ta produktyvnist yii fotosyntetichnoi dialnosti zalezno vid rivnia mineralnogo zhyvlennia [Dynamics of leaf surface formation of grass pea and productivity of its photosynthetic activity depending on the level of mineral nutrition]. *Ahrarni innovatsii — Agrarian innovations*, 8, 23–28. DOI: <https://doi.org/10.32848/agr.ar.innov.2021.8.3> [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції журналу 19.03.2024