

УДК 633.34:631.5

Фотосинтетична продуктивність посівів сої залежно від інокуляції та застосування мікродобрів

 Д. В. Козирський,  І. В. Трач*, І. Я. Сидорак

Зклад вищої освіти «Подільський державний університет», вул. Шевченка, 12, м. Кам'янець-Подільський, Хмельницька обл., 32316, Україна, *e-mail: trach.ivan.v@gmail.com

Мета. Установити вплив бактеризації насіння та листкового підживлення на фотосинтетичну продуктивність сортів сої в умовах Західного Лісостепу України. **Методи.** Польові дослідження проводили впродовж 2019–2022 рр. на полях ТзОВ «Козацька долина 2006» (Хмельницька обл.). Польовий дослід закладали за схемою: фактор А – інокуляція насіння: 1) без інокуляції, 2) інокуляція препаратом Ризоактив; фактор Б – сорти сої: 'Самородок', 'Рогізнянка', 'Тріада', 'Орфей', 'Еврідика', 'Аратта', 'Азимут', 'Аврора'; фактор В – листкове підживлення: 1) без підживлення, 2) дворазове підживлення мікродобрином Фульвогумін. Дослідження проводили за загальними та спеціальними методиками дослідної справи в рослинництві. **Результати.** Закономірності формування площі листя в період цвітіння визначали основні зміни цієї ознаки у другій половині вегетації сої, що засвідчує потребу забезпечення оптимального догляду за культурою саме в першій половині вегетації. У фазі побуріння бобів у сортів 'Самородок', 'Орфей', 'Аратта' та 'Еврідика' площа листкової поверхні становила 39,1; 38,1; 37,6 та 37,8 тис. м²/га відповідно. Сорти 'Рогізнянка' та 'Тріада' за аналогічних умов мали площу листя 40,0 та 40,1 тис. м²/га, а найвищі в досліді показники відзначено в 'Азимут' та 'Аврора' – 40,5 та 40,8 тис. м²/га. Бактеризація насіння та листкове підживлення рослин впливали на зміну фотосинтетичного потенціалу сої в міру своєї дієвості. Тобто, якщо досліджуваний агрозахід поліпшував загальний стан посівів або ж допомагав рослинам накопичити додатковий азот, то він не міг зрівнятись за своїм впливом зі внесенням додаткового азоту у вільній формі. Що, власне, й підтвердив аналіз параметрів фотосинтетичного потенціалу посівів сої. У фазі цвітіння найбільшим показником чистої продуктивності фотосинтезу відзначався сорт 'Самородок' – 1,55 г/м² за добу, найменшими – сорти 'Рогізнянка', 'Тріада' та 'Аратта' – 1,12; 1,26 та 1,25 г/м² за добу відповідно. Решта сортів мали середні показники: 'Аврора' – 1,36, 'Еврідика' та 'Азимут' – 1,43, 'Орфей' – 1,48 г/м² за добу. За сукупного впливу факторів досліду кращими були сорти 'Самородок' та 'Орфей', у яких параметри чистої продуктивності посівів були на рівні 1,58 г/м² за добу. **Висновки.** Листкове підживлення сої мікродобрином Фульвогумін сприяло збільшенню площі листкової поверхні рослин у фазі побуріння бобів порівняно із варіантом фонового живлення на 2,49 тис. м²/га. Інокуляція насіння біопрепаратом Ризоактив забезпечила підвищення цього показника на 2,92 тис. м²/га проти варіантів без проведення цього агрозаходу. За комплексного впливу цих факторів площу листя понад 42 тис. м²/га відзначено в сортів 'Самородок', 'Тріада' та 'Азимут', а найвищі показники в досліді були у сортів 'Рогізнянка' та 'Аврора' – 44,0 і 45,2 тис. м²/га відповідно. Бактеризація насіння та позакоренева обробка посівів гуматами були ефективні за впливом на зміну фотосинтетичного потенціалу посівів сої. Зокрема, у фазі утворення бобів за підживлення рослин Фульвогуміном ФП становив 1,20 млн м²/га проти 1,11 млн м²/га у контрольному варіанті. Варіанти досліду, в яких рослини сої вирощували без бактеризації насіння, мали в середньому ФП на рівні 1,10 млн м²/га, тоді як у разі застосування біопрепарату Ризоактив – 1,22 млн м²/га. У другій половині вегетації чиста продуктивність фотосинтезу теж залежала від впливу факторів досліду, проте їхня роль порівняно з попереднім періодом зменшилась. Зокрема, за позакореневого удобрення різниця ЧПФ проти неудобрених варіантів досліду була 0,05 г/м² за добу, тоді як інокуляція сприяла зростанню цієї ознаки на 0,08 г/м² за добу. Однак, це досить незначні відмінності в накопиченні сухої речовини з огляду на достатньо велику площу листкової поверхні.

Ключові слова: інокуляція; листкове підживлення; площа листя; фотосинтетичний потенціал.

Вступ

Фотосинтез є основою створення й накопичення органічної речовини та енергії зеленими рослинами, проте сучасні сільськогосподарські культури використовують лише до 1,5 % фотосинтетично активної радіації, утворюючи до 6 т/га сухої речовини. Підвищення рівня засвоєння фотосинтетично активної радіації до 5 % дасть змогу отримувати від 12 до 16,0 т/га сухої речовини. При цьому, інші фактори навколишнього середовища не потребують змін або кардинального поліпшення, оскільки цей ресурс щорічно не використовується внаслідок неоптимальності розташування фотосинтетичного апарату та його роботи в процесі вегетації [1, 2].

Формування посівів з оптимально розвиненим листовим апаратом є одним із головних шляхів підвищення продуктивності фотосинтезу, оскільки листок є основним органом фотосинтезу, що засвоює сонячну енергію і синтезує органічні сполуки для формування нових органів та врожаю. Добре розвинений фотосинтетичний апарат – ключовий фактор високих урожаїв сільськогосподарських культур. Тому, на всіх етапах росту й розвитку рослин він повинен характеризуватися високою інтенсивністю та продуктивністю. Відповідно, всі елементи технології вирощування сої мають бути спрямовані на забезпечення сприятливих умов для кращого функціонування фотосинтетичного апарату та підвищення коефіцієнта використання рослиною сонячної енергії [3–6].

Факторами, що значною мірою визначають урожай сої, є розмір листової поверхні та тривалість її продуктивної дії, адже в результаті фотосинтезу формується вся суха маса рослини і лише незначну частину рослини отримують із насінням – як запаси необхідні для їх початкового росту [7–9]. Оптимальна площа асиміляційної поверхні для рослин сої становить від 40 до 50 тис. м²/га. Тоді як значне зменшення площі листя призводить до нераціонального використання фотосинтетично активної радіації, а збільшення понад 60 тис. м²/га знижує продуктивність фотосинтезу і викликає конкуренцію за світло та інші чинники навколишнього середовища [10–13].

Інтенсивність зростання, площа і тривалість функціонування листової поверхні рослин залежать від сортових особливостей, ґрунтово-кліматичних умов та елементів технології вирощування [14–0]. Тому вивчення фотосинтетичної продуктивності різних сортів сої за інокуляції насіння та листового підживлення посівів є актуальним питанням, що потребує наукового обґрунтування з подальшим впровадженням у виробництво.

Мета досліджень – установити вплив бактеризації насіння та листового підживлення на фотосинтетичну продуктивність сортів сої в умовах Західного Лісостепу України.

Матеріали та методика досліджень

Польові дослідження проводили впродовж 2019–2022 рр. в умовах Західного Лісостепу України, на полях ТзОВ «Козацька долина 2006» (Хмельницька обл.).

Ґрунт дослідного поля – чорнозем глибокий малогумусний на карбонатних лесовидних суглинках, середньосуглинковий. У шарі ґрунту 0–30 см міститься 120 мг/кг азоту, 95 мг/кг фосфору і 168 мг/кг калію, сума ввібраних основ – 212 мг-екв/кг ґрунту, рН – 6,7, об'ємна маса – 1,39 г/см³, загальна шпаруватість – 49 %, щільність твердої фази – 2,58 г/см³, вологість в'янення – 26 мм, повна вологомісткість – 72 мм, а найменша польова вологомісткість – 39 мм.

Погодні умови були сприятливими для росту й розвитку сої, проте, у роки проведення досліджень, дещо відрізнялись за температурним режимом і кількістю та розподілом протягом вегетації опадів, що дало змогу краще оцінити вплив досліджуваних факторів.

Польовий дослід закладали за схемою:

фактор А – інокуляція насіння: 1) без інокуляції, 2) інокуляція препаратом Ризоактив;

фактор Б – сорти сої: 'Самородок', 'Рогізнянка', 'Тріада', 'Орфей', 'Еврідика', 'Аратта', 'Азимут', 'Аврора';

фактор В – позакореневе підживлення рослин: 1) без підживлення, 2) дворазове підживлення мікродобривом Фульвогумін.

Загальна площа дослідної ділянки – 35 м², облікової – 30 м². Повторність – триразова.

Норма висіву досліджуваних сортів сої – 700 тис. схожих насінин/га.

Передпосівну обробку насіння сої Ризоактивом (1 л/т) проводили в день сівби у закритому приміщенні, щоб не допустити потрапляння прямого сонячного проміння. У контрольному варіанті насіння обробляли дистильованою водою.

Листкове підживлення рослин мікродобривом Фульвогумін проводили двічі: у фазі 2–3 пари справжніх листків (1,25 л/га) та у фазі бутонізації культури (1,0 л/га).

Дослідження проводили за загальними та спеціальними методиками дослідної справи в рослинництві [17]. Площу листя визначали методом висічок, вибираючи листки з 10-ти рослин і виконуючи вимірювання за формулою:

$$\Pi = \frac{M\Pi_1 K}{M_1},$$

M – загальна маса листків, г; Π_1 – площа висічки, см²; K – кількість висічок, шт.; M_1 – маса висічок, г.

Фотосинтетичний потенціал розраховували за формулою А. О. Ничипоровича:

$$\Phi\Pi = \frac{[(L_1 + L_2) \times T_1 + (L_2 + L_3) \times T_2 \dots]}{2},$$

$L_1 + L_2$ – площа листків тис. м²/га; T_1, T_2 – тривалість періоду, діб.

Чисту продуктивність фотосинтезу визначали за формулою:

$$\text{ЧПФ} = \frac{B_2 - B_1}{\frac{L_1 + L_2}{2} \times T},$$

B_1, B_2 – маса сухої речовини, г; L_1, L_2 – площа листкової поверхні, м²; T – тривалість міжфазного періоду, діб.

Статистичний аналіз результатів досліджень проводили, використовуючи програмні продукти Excel та Statistica 6.0 [18].

Результати дослідження

У середньому сорт ‘Самородок’ у фазу цвітіння мав площу листя в 37,8 тис. м²/га, сорти ‘Орфей’, ‘Еврідика’ та ‘Аратта’ мали дещо меншу площу – 36,9; 36,6 та 36,3 тис. м²/га. Такі сорти, як ‘Рогізнянка’ та ‘Тріада’, за аналогічних умов вирощування, формували площу листя 38,8 та 38,8 тис. м²/га, коли найвищі показники були в сортів ‘Азимут’ та ‘Аврора’ – 39,1 та 39,5 тис. м²/га.

Листкові підживлення мікродобривом Фульвогумін мали позитивний вплив на формування площі листя у фазі цвітіння. Зокрема, за листкового удобрення площа листя зросла на 2,40 тис. м²/га, тоді як у варіанті за фонового внесення N₃₀P₆₀K₆₀ середні показники становили 36,8 тис. м²/га. Бактеризація насіння Ризоактивом теж позитивно позначилась на площі листя, оскільки рослини мали кращу забезпеченість азотом, і переважали не бактеризовані варіанти на 2,82 тис. м²/га.

Загалом у досліді у фазі цвітіння вища площа листя була за інокуляції насіння сої та подальшим листковим підживленням. Найвищими показниками відзначались ‘Рогізнянка’ та ‘Аврора’ – 42,5 і 43,7 тис. м²/га відповідно.

Загалом, через незначну тривалість міжфазного періоду між цвітінням та утворенням бобів ми мали змогу переконатись у подібних, хоча й дещо вищих закономірностях формування площі листкової поверхні під дією досліджуваних факторів досліду.

Встановлено, що у фазі утворення бобів у середньому по досліді сорт ‘Самородок’ формував площу листя 38,1 тис. м²/га, тоді як сорти ‘Орфей’, ‘Еврідика’ та ‘Аратта’ – 37,2; 36,9 та 36,6 тис. м²/га. Такі сорти, як ‘Рогізнянка’ та ‘Тріада’, за аналогічних умов мали площу листя по 39,1 тис. м²/га, тоді як кращими за цим показником у досліджувані роки були сорти ‘Азимут’ та ‘Аврора’ – 39,5 та 39,8 тис. м²/га відповідно.

Підживлення добривом Фульвогумін також позитивно позначилось на формуванні площі листя, зокрема у фазі утворення бобів, та порівняно з варіантами фонового живлення площа листкової поверхні була на 2,42 тис. м²/га більшою.

Біопрепарат Ризоактив за інокуляції насіння мав більший позитивний вплив на площу листя, ніж у фазі цвітіння. Зростання цього показника відносно не бактеризованих варіантів становила 2,84 тис. м²/га.

У сортів сої ‘Самородок’, ‘Тріада’, ‘Орфей’, ‘Азимут’ саме за комплексного застосування бактеризації та листкового підживлення площа листя перевищувала 41 тис. м²/га. Максимальним цей показник був у сортів ‘Рогізнянка’ (42,9 тис. м²/га) та ‘Аврора’ (44,1 тис. м²/га).

Щодо періоду побуріння бобів, то завдяки своїм фізіологічним особливостям сорт ‘Самородок’, у середньому по досліді, мав площу листя 39,1 тис. м²/га, тоді як сорти ‘Орфей’, ‘Еврідика’ та ‘Аратта’ формували 38,1; 37,8 та 37,6 тис. м²/га. ‘Рогізнянка’ та ‘Тріада’, за аналогічних умов, мали площу

листя 40,0 та 40,1 тис. м²/га, тоді як найвищі показники спостерігались в 'Азимут' та 'Аврора' – 40,5 та 40,8 тис. м²/га відповідно.

Встановлено, що у фазі побуріння бобів листове підживлення мікродобривом Фульвогумін зберегло ефект своєї дії, оскільки площа листя переважала варіанти фонового живлення на 2,49 тис. м²/га. Також за інокуляції насіння біопрепаратом Ризоактив отримано прирости на 2,92 тис. м²/га порівняно з неінокульованими варіантами.

Таблиця 1

Формування площі листя сої залежно від сорту, інокуляції насіння та листових підживлень, тис. м²/га (середнє за 2019–2022 рр.)

Інокуляція	Сорт	Удобрення	Фаза розвитку		
			цвітіння	утворення бобів	побуріння бобів
Без обробки насіння	'Самородок'	N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀	35,5	35,8	36,7
	'Рогізнянка'		36,1	36,4	37,3
	'Тріада'		37,1	37,4	38,3
	'Орфей'		34,7	35,0	35,9
	'Еврідика'		35,3	35,6	36,5
	'Аратта'		34,0	34,3	35,2
	'Азимут'		37,7	38,0	39,0
	'Аврора'		36,3	36,6	37,5
Ризоактив	'Самородок'	N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀	37,7	38,0	39,0
	'Рогізнянка'		39,0	39,3	40,3
	'Тріада'		38,0	38,4	39,3
	'Орфей'		36,7	37,0	38,0
	'Еврідика'		35,5	35,8	36,7
	'Аратта'		36,3	36,6	37,6
	'Азимут'		38,1	38,4	39,4
	'Аврора'		40,1	40,5	41,5
Без обробки насіння	'Самородок'	N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀	36,9	37,2	38,2
	'Рогізнянка'		37,5	37,9	38,8
	'Тріада'		38,6	38,9	39,9
	'Орфей'		36,1	36,4	37,3
	'Еврідика'		36,7	37,0	37,9
	'Аратта'		35,4	35,7	36,6
	'Азимут'		39,2	39,5	40,5
	'Аврора'		37,8	38,1	39,1
Ризоактив	'Самородок'	N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀ + Фульвогумін	41,1	41,4	42,5
	'Рогізнянка'		42,5	42,9	44,0
	'Тріада'		41,4	41,8	42,8
	'Орфей'		40,0	40,3	41,4
	'Еврідика'		38,7	39,0	40,0
	'Аратта'		39,6	39,9	40,9
	'Азимут'		41,5	41,9	42,9
	'Аврора'		43,7	44,1	45,2
НІР _{0,05}			0,82	1,10	1,03

Як порівняти закономірності формування площі листя у фазі побуріння бобів, то можемо відмітити високу ефективність бактеризації насіння й листового підживлення посівів на її показники аналогічно попереднім фазам розвитку рослин. Зокрема, у сортів сої 'Самородок', 'Тріада' та 'Азимут' була отримана площа листя понад 42 тис. м²/га за комплексу агрозаходів, при цьому найвищі показники в досліді мали сорти 'Рогізнянка' та 'Аврора' – 44,0 і 45,2 тис. м²/га.

Таким чином, закономірності формування площі листя на час цвітіння визначали основні зміни, що відбувались з цією ознакою в другій половині вегетації сої, що засвідчує потребу забезпечення оптимального догляду саме в першій половині вегетації культури.

Оцінювали особливості варіювання площі листя рослин сої у фазі цвітіння, утворення та побуріння бобів у середньому за роки досліджень (рис. 1).

У міру наближення вегетаційного періоду до фази досягання рослин збільшується варіювання ознаки, що засвідчує не лише тенденції до зменшення впливу елементів технології вирощування досліджуваних на початкових фазах органогенезу сої, а й показує наскільки важливо грамотно

ініціювати стартовий період росту розвитку рослин. Вирівняність показників на початку вегетації здатна сприяти кращій ефективності фотосинтезу в наступні періоди.

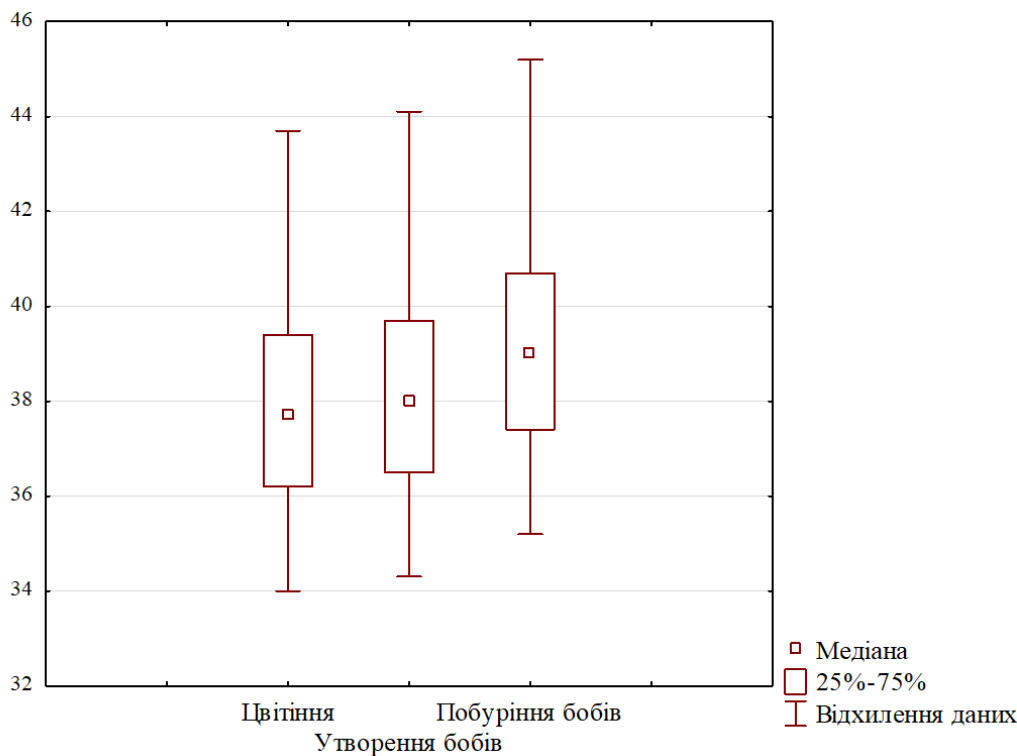


Рис. 1. Варіювання площі листя сої у фазі цвітіння, утворення та побуріння бобів (середнє за роки досліджень)

Дослідженнями передбачалось визначення закономірностей фотосинтетичного потенціалу посівів сої залежно від сортових особливостей, інокуляції насіння та листових підживлень (табл. 2).

Зважаючи на те, що відмічали відмінності у формуванні площі листової поверхні на час настання фази цвітіння, то й показники фотосинтетичного потенціалу досліджуваних сортів сої у цей період різнилися. Зокрема, в сорту 'Самородок' цей показник був найменший у досліді і становив 0,70 млн м²/га. Незначні відмінності в бік збільшення фотосинтетичного потенціалу на 0,08; 0,10 та 0,16 млн м²/га спостерігалось у сортів 'Орфей', 'Еврідіка' та 'Азимут'. Інші сорти, що вивчали, мали на понад 0,20 млн м²/га кращі значення фотосинтетичного потенціалу.

Аналізуючи вплив факторів досліді на реалізацію фотосинтетичного потенціалу посівів сої, можна відмітити, що різниця у варіантах, де проводили листове підживлення, з варіантами без цього агрозаходу, була 0,05 млн м²/га, а за бактеризації насіння – на 0,08 млн м²/га в кращий бік, тобто отримані відхилення мали незначний тип варіювання даних.

При аналізі усереднених показників, навіть попри незначні відхилення, кращими за значенням фотосинтетичного потенціалу у фазі цвітіння були сорти 'Рогізьянка' – 1,02 млн м²/га та 'Аврора' – 1,03 млн м²/га.

На період фази утворення бобів показник фотосинтетичного потенціалу зріс. Зокрема в сорту 'Самородок' він становив у середньому 1,03 млн м²/га, в 'Орфей' та 'Еврідіка' – 1,08 та 1,07 млн м²/га відповідно, 'Аратта' – 1,12 млн м²/га. Такі сорти, як 'Рогізьянка', 'Азимут' та 'Аврора' мали фотосинтетичний потенціал понад 1,20 млн м²/га, коли найвищий показник відмічався в сорту 'Тріада' – 1,34 млн м²/га.

Порівняно із попереднім періодом, вплив досліджуваних елементів технології в досліді підсилив зміни фотосинтетичного потенціалу посівів, хоча вони не були домінантними чинниками. Зокрема, у контрольному варіанті удобрення фотосинтетичний потенціал становив 1,11 млн м²/га, коли за листового підживлення рослин Фульвогуміном фотосинтетичний він був у межах 1,20 млн м²/га.

Фотосинтетичний потенціал посівів сої залежно від сорту, інокуляції насіння та листових підживлень, млн м²/га (середнє за 2019–2022 рр.)

Інокуляція	Сорт	Удобрення	Фаза розвитку		
			цвітіння	утворення бобів	побуріння бобів
Без обробки насіння	'Самородок'	N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀	0,66	0,94	1,53
	'Рогізнянка'		0,85	1,11	1,52
	'Тріада'		0,85	1,25	1,84
	'Орфей'		0,74	0,99	1,65
	'Еврідика'		0,77	1,01	1,67
	'Аратта'		0,84	1,01	1,90
	'Азимут'		0,83	1,16	1,91
	'Аврора'		0,84	1,08	1,91
Ризоактив	'Самородок'	N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀	0,70	1,04	1,63
	'Рогізнянка'		0,94	1,20	1,68
	'Тріада'		0,90	1,32	1,88
	'Орфей'		0,79	1,09	1,78
	'Еврідика'		0,78	1,05	1,72
	'Аратта'		0,92	1,11	2,03
	'Азимут'		0,86	1,21	1,93
	'Аврора'		0,95	1,23	2,11
Без обробки насіння	'Самородок'	N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀	0,69	0,98	1,63
	'Рогізнянка'		0,88	1,19	1,58
	'Тріада'		0,89	1,30	1,95
	'Орфей'		0,77	1,03	1,75
	'Еврідика'		0,80	1,05	1,78
	'Аратта'		0,87	1,09	1,98
	'Азимут'		0,86	1,24	1,98
	'Аврора'		0,87	1,16	1,99
Ризоактив	'Самородок'	+ Фульвогумін	0,76	1,14	1,82
	'Рогізнянка'		1,02	1,31	1,88
	'Тріада'		0,97	1,48	2,05
	'Орфей'		0,85	1,19	1,98
	'Еврідика'		0,85	1,15	1,92
	'Аратта'		0,99	1,25	2,21
	'Азимут'		0,93	1,32	2,14
	'Аврора'		1,03	1,39	2,30

У варіантах досліду без бактеризації насіння сорти сої мали фотосинтетичний потенціал у середньому 1,10 млн м²/га, тоді як у разі застосування для обробки біопрепарату Ризоактив отримано показник 1,22 млн м²/га.

Загалом по досліді, за бактеризації насіння сої та подальшого листового підживлення отримано найкращий фотосинтетичний потенціал у фазі утворення бобів у сортів 'Аврора' – 1,39 млн м²/га та 'Тріада' – 1,48 млн м²/га.

У фазі побуріння бобів спостерігали певне вирівнювання показників фотосинтетичного потенціалу посівів і в сортів 'Самородок', 'Рогізнянка', 'Орфей', 'Еврідика' він становив 1,65; 1,67; 1,79 та 1,77 млн м²/га відповідно. Такі сорти, як 'Тріада', 'Аратта', 'Азимут' та 'Аврора' мали наближені до 2,0 значення, а саме: 1,93; 2,03; 1,99 та 2,08 млн м²/га.

Також спостерігалась тенденція підвищення фотосинтетичного потенціалу в разі застосування листового підживлення Фульвогуміном на 0,14 млн м²/га та за бактеризації насіння сої – на 0,16 млн м²/га. Тобто, чим ближче до завершення вегетаційного періоду, тим менш помітна різниця застосування препаратів на початкових етапах її вирощування. Інокуляція насіння дає свої плоди аж до завершення вегетації, проте, це спостерігається за достатнього вологозабезпечення ґрунту та все одно біологічно фіксований азот не може повною мірою забезпечити всі потреби рослин.

Серед сортів, за інокуляції насіння та подальших листових підживлень, кращий фотосинтетичний потенціал у фазі побуріння бобів спостерігався в 'Аратта' та 'Аврора' – 2,21 і 2,30 млн м²/га відповідно.

Таким чином, загалом агрозаходи з бактеризації насіння та листкового підживлення посівів гуматами були ефективними за впливом на зміну фотосинтетичного потенціалу сої в міру своєї дієвості. Тобто, якщо фізіологічно препарат поліпшує загальний стан посівів або ж допомагає рослинам накопичити додатковий азот, то він не може зрівнятись за своїм впливом зі внесенням того ж самого додаткового азоту у вільній формі. Власне аналіз фотосинтетичного потенціалу посівів це і допоміг підтвердити.

Більш детально зупинимось на зміні параметрів чистої продуктивності фотосинтезу залежно від сорту, інокуляції насіння та листкових підживлень (табл. 3).

Таблиця 3

Чиста продуктивність фотосинтезу посівів залежно від сорту, інокуляції насіння та листкових підживлень, г/м² за добу (середнє за 2019–2022 рр.)

Інокуляція	Сорт	Удобрення	Фаза розвитку		
			цвітіння	утворення бобів	побуріння бобів
Без обробки насіння	‘Самородок’	N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀	1,48	0,37	1,53
	‘Рогізнянка’		1,08	0,30	1,46
	‘Тріада’		1,15	0,29	1,28
	‘Орфей’		1,37	0,35	1,49
	‘Еврідика’		1,32	0,34	1,47
	‘Аратта’		1,20	0,36	1,28
	‘Азимут’		1,31	0,35	1,37
	‘Аврора’		1,31	0,37	1,38
Ризоактив	‘Самородок’	N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀	1,57	0,41	1,63
	‘Рогізнянка’		1,10	0,34	1,48
	‘Тріада’		1,26	0,33	1,44
	‘Орфей’		1,48	0,39	1,57
	‘Еврідика’		1,52	0,40	1,66
	‘Аратта’		1,25	0,75	1,36
	‘Азимут’		1,48	0,77	1,59
	‘Аврора’		1,34	0,79	1,44
Без обробки насіння	‘Самородок’	N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀	1,57	0,85	1,58
	‘Рогізнянка’		1,17	0,68	1,57
	‘Тріада’		1,21	0,59	1,32
	‘Орфей’		1,47	0,78	1,56
	‘Еврідика’		1,40	0,40	1,52
	‘Аратта’		1,29	0,37	1,37
	‘Азимут’		1,42	0,69	1,47
	‘Аврора’		1,42	0,41	1,49
Ризоактив	‘Самородок’	+ Фульвогумін	1,58	0,41	1,59
	‘Рогізнянка’		1,12	0,62	1,47
	‘Тріада’		1,43	0,70	1,63
	‘Орфей’		1,59	0,44	1,65
	‘Еврідика’		1,47	0,81	1,57
	‘Аратта’		1,28	0,76	1,38
	‘Азимут’		1,49	0,79	1,55
	‘Аврора’		1,36	0,76	1,46

Не менш важливо знати, наскільки ефективно працює сформована площа листкової поверхні з позицій ефективності засвоєння сонячної енергії та подальшого накопичення сухої речовини.

У результаті досліджень встановлено, що у фазі цвітіння посіви сорту ‘Самородок’ накопичували суху речовину в межах 1,55 г/м² за добу, що було найбільшим у досліді, найменшим у сорту ‘Рогізнянка’ – 1,12 г/м² за добу, а сорти ‘Тріада’ та ‘Аратта’ мали рівень в 1,26 та 1,25 г/м² за добу. Решта сортів мали середні показники чистої продуктивності фотосинтезу: ‘Аврора’ – 1,36, ‘Еврідика’ та ‘Азимут’ – 1,43 та ‘Орфей’ – 1,48 г/м² за добу.

Фактори досліді також впливали на рівень накопичення сухої речовини одиницею площі листя. Зокрема, за інокуляції насіння, в середньому ефективність була вищою проти контрольних варіантів досліді на 0,07, а за листкового удобрення – на 0,06 г/м² за добу. Що свідчить про спрямованість дії елементів технології, коли за допомогою них збільшуємо площу листя і

поліпшуємо фізіологічний стан рослин, то більша площа впливає на показники фотосинтетичного потенціалу істотніше, ніж на зміни чистої продуктивності фотосинтезу посівів. ЧПФ зростає поступово, в міру розвитку рослин, і не може мати швидкого відгуку в зміні фундаментальних ознак.

За сукупної дії факторів досліджу було виявлено, що кращими є сорти 'Самородок' та 'Орфей', чиста продуктивність посівів яких була на рівні 1,58 г/м² за добу.

У фазі утворення бобів кількість накопичуваної сухої речовини зменшилась, порівняно з попереднім періодом, оскільки він був менш тривалим, а тому ЧПФ у сорту 'Самородок' становила 0,51 г/м² за добу, тоді як у сортів 'Рогізнянка', 'Тріада', 'Орфей' та 'Еврідіка' цей показник у межах 0,48–0,49 г/м² за добу. Водночас у сорту 'Аратта' чиста продуктивність фотосинтезу становила 0,56 г/м² за добу, 'Аврора' – 0,58 г/м² за добу, а найвищі значення були в 'Азимут' – 0,65 г/м² за добу.

У продовження припущення щодо впливу досліджуваних факторів на фізіологічний рівень стану рослин та відповідне поліпшення накопичення ними сухої речовини свідчать дані, отримані в період утворення бобів. Зокрема, за бактеризації насіння біопрепаратом Ризоактив приріст порівняно з варіантами без використання цього агрозаходу був 0,12 г/м² за добу, а в разі листових підживлень гуматами – 0,20 г/м² за добу.

Порівнюючи вплив факторів досліджу на прояв сортових особливостей встановлено, що комплексна їх дія сприяла формуванню кращого показника чистої продуктивності фотосинтезу в сорту 'Еврідіка' – 0,81 г/м² за добу, і лише за бактеризації в сорту 'Самородок' цей показник становив 0,85 г/м² за добу.

У період побуріння бобів, середні показники ЧПФ у сорту 'Самородок' були 1,58 г/м² за добу, 'Орфей' – 1,56 г/м² за добу, а в сорту 'Еврідіка' – 1,55 г/м² за добу. У решти сортів ці показники були нижчими.

У другій половині вегетації ЧПФ теж залежала від впливу факторів досліджу, проте їх роль зменшилась, порівняно з попереднім періодом. Зокрема, за листового удобрення різниця чистої продуктивності фотосинтезу в не удобрених варіантах досліджу була 0,05 г/м² за добу, тоді як за інокуляції спостерігалось зростання ознаки на 0,08 г/м² за добу. Це є досить незначними відмінностями в накопиченні сухої речовини з огляду на достатньо високу площу листової поверхні. А це означає, що листовка площа, особливо та, що почала втрачати хлорофіл, але не опала на час побуріння бобів, працює неефективно. Однак, методики визначення роботи окремих листків з погляду накопичення ними запасних пластичних речовин немає, тому це питання не входило в завдання досліджень.

Аналізуючи особливості сортової реакції на зміну показника ЧПФ, слід відмітити, що у сортів 'Тріада' та 'Орфей' за бактеризації насіння Ризоактивом та подальшого листового підживлення рослин Фульвогуміном отримано найкращі значення – 1,63 та 1,65 г/м² за добу. Аналогічно у варіанті із застосуванням лише бактеризації насіння сорт 'Самородок' мав чисту продуктивність фотосинтезу – 1,63, а сорт 'Еврідіка' – 1,66 г/м² за добу.

Висновки

Листкове підживлення сої мікродобривом Фульвогуміном сприяло збільшенню площі листової поверхні рослин у фазі побуріння бобів порівняно із варіантом фонового живлення на 2,49 тис. м²/га. Інокуляція насіння біопрепаратом Ризоактив забезпечила підвищення цього показника на 2,92 тис. м²/га проти варіантів без проведення цього агрозаходу. За комплексного впливу цих факторів площу листя понад 42 тис. м²/га відзначено в сортів 'Самородок', 'Тріада' та 'Азимут', а найвищі показники в досліді були в сортів 'Рогізнянка' та 'Аврора' – 44,0 і 45,2 тис. м²/га відповідно.

Бактеризація насіння та позакоренева обробка посівів гуматами були ефективні за впливом на зміну фотосинтетичного потенціалу посівів сої. Зокрема, у фазі утворення бобів за підживлення рослин Фульвогуміном ФП становив 1,20 млн м²/га проти 1,11 млн м²/га у контрольному варіанті. Варіанти досліджу, в яких рослини сої вирощували без бактеризації насіння, мали в середньому ФП на рівні 1,10 млн м²/га, тоді як у разі застосування біопрепарату Ризоактив – 1,22 млн м²/га.

У другій половині вегетації чиста продуктивність фотосинтезу теж залежала від впливу факторів досліджу, проте їхня роль порівняно з попереднім періодом зменшилась. Зокрема, за позакореневого удобрення різниця ЧПФ проти не удобрених варіантів досліджу була 0,05 г/м² за добу, тоді як інокуляція сприяла зростанню цієї ознаки на 0,08 г/м² за добу. Однак, це досить незначні відмінності в накопиченні сухої речовини з огляду на достатньо високу площу листової поверхні.

Використана література

1. Бабич А. О., Бабич-Побережна А. А. Селекція, виробництво, торгівля і використання сої у світі. Київ : Аграрна наука, 2011. 548 с.
2. Бахмат О. М. Моделювання адаптивної технології вирощування сої : монографія. Кам'янець-Подільський : Зволейко Д. Г. 2012. 436 с.
3. Бабич А. О., Бабич А. А. Селекція і зональне розміщення сої в Україні. *Збірник наукових праць Селекційно-генетичного інституту – Національного центру насіннєзнавства та сортовивчення*. 2010. Вип. 15. С. 25–32.
4. Чинчик О. С. Тривалість вегетаційного періоду та фаз росту і розвитку рослин сої залежно від сортових особливостей та удобрення. *Корми і кормовиробництво*. 2016. Вип. 82. С. 133–137.
5. Фурман О. В. Тривалість вегетаційного періоду та фаз росту і розвитку рослин сої залежно від технологічних заходів вирощування. *Таврійський науковий вісник*. 2019. № 109, Ч. 1. С. 148–154
6. Міхеєва О. О. Тривалість періоду вегетації сої залежно від норм висіву і способів сівби. *Вісник ХНАУ. Серія : Рослинництво, селекція і насінництво, плодоовочівництво і зберігання*. 2018. Вип. 2. С. 171–182.
7. Egli D. B. Cultivar maturity and responses of soybean to shade stress during seed filling. *Fild Crops Research*. 1997. Vol. 52. P. 1–8.
8. Liu L., Sun C., Zu W. Effects of nitrogen on nodule-forming and nitrogen concentration in soybean leaves. *Northeast Agricultural University*. 2005. Vol. 36, Iss. 2. P. 133–137.
9. Matsuo N., Yamada T., Takada Y. et al. Effect of plant density on growth and yield of new soybean genotypes grown under early planting condition in southwestern Japan. *Plant Production Science*. 2018. Vol. 21, Iss. 1. P. 16–25. doi: 10.1080/1343943X.2018.1432981
10. Огурцов Є. М. Соя у Східному Лісостепу України. Харків : ХНАУ ім. В. В. Докучаєва, 2008. 270 с.
11. Огурцов Є. М., Міхеєв В. Г., Белінський Ю. В., Клименко І. В. Адаптивна технологія вирощування сої у Східному Лісостепу України / за ред. М. А. Бобро. Харків : ХНАУ, 2016. 268 с.
12. Петриченко В. Ф. Агроекологічна оцінка сортів сої в умовах північного Лісостепу України. *Збірник наукових праць Вінницького державного аграрного університету*. 2002. Вип. 11. С. 3–7.
13. Петриченко В. Ф. Агроекологічні аспекти адаптивної технології вирощування сої в Лісостепу Західному. *Посібник українського хлібороба*. 2013. Т. 2. С. 177–185.
14. Мосьондз Н. П. Формування продуктивності сої залежно від технологічних заходів вирощування в умовах північної частини Лісостепу. *Землеробство*. 2014. Вип. 1–2. С. 74–77.
15. Надкернична О. В., Ковалевська Т. М., Козар С. Ф. Особливості впливу деяких азотфіксуючих бактерій на розвиток рослин сої. *Корми і кормовиробництво*. 2001. Вип. 27. С. 112–114.
16. Назарчук А. А. Фотосинтетичний потенціал сої залежно від інокуляції насіння, фону живлення та сорту в умовах степу України. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2015. Вип. 1. С. 144–151.
17. Haq M., Mallarino A. Response of soybean grain oil and protein concentrations to foliar and soil fertilization. *Agronomy Journal*. 2005. Vol. 97, Iss. 3. P. 910–918. doi: 10.2134/agronj2004.0215
18. Присяжнюк О. І., Каражбей Г. М., Лещук Н. В. та ін. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica 10 : методичні вказівки. Київ : Нілан-ЛТД, 2016. 54 с.

References

1. Babych, A. O., & Babych-Poberezhna, A. A. (2011). *Breeding, production, trade and use of soybeans in the world*. Kyiv: Ahrarna nauka. [In Ukrainian]
2. Bakhmat, O. M. (2012). *Modeling of adaptive soybean cultivation technology*. Kamianets-Podilskyi: Zvoleiko D. H. [In Ukrainian]
3. Babych, A. O., & Babych, A. A. (2010). Selection and zonal placement of soybeans in Ukraine. *Collected Scientific Articles Plant Breeding and Genetics Institute – National Center of Seed and Cultivars Investigation*, 15, 25–32. [In Ukrainian]
4. Chynchyk, O. S. (2016). Duration of the growing season and phases of growth and development of soybean plants depending on varietal characteristics and fertilizer. *Feeds and Feed Production*, 82, 133–137. [In Ukrainian]
5. Furman, O. V. (2019). The duration of the growing season and phases of growth and development of soybean plants depending on the technological measures of cultivation. *Tavria Scientific Bulletin*, 109(1), 148–154. [In Ukrainian]
6. Mikhieieva, O. O. (2018). The duration of the growing season of soybeans depends on the sowing rates and methods of sowing. *The Bulletin of Kharkiv National Agrarian University. Crop production, breeding and seed production, horticulture*, 2, 171–182. [In Ukrainian]
7. Egli, D. B. (1997). Cultivar maturity and responses of soybean to shade stress during seed filling. *Fild Crops Research*, 52, 1–8. [In Ukrainian]

8. Liu, L., Sun, C., & Zu, W. (2018). Effects of nitrogen on nodule-forming and nitrogen concentration in soybean leaves. *Northeast Agricultural University*, 36(2), 133–137. [In Ukrainian]
9. Matsuo, N., Yamada, T., Takada, Y., Fukami, K., & Hajika, M. (2018). Effect of plant density on growth and yield of new soybean genotypes grown under early planting condition in southwestern Japan. *Plant Production Science*, 21(1), 16–25. doi: 10.1080/1343943X.2018.1432981
10. Ohurtsov, Ye. M. (2008). *Soy in the Eastern Forest Steppe of Ukraine*. Kharkiv: KhNAU. [In Ukrainian]
11. Ohurtsov, Ye. M., Mikhieiev, V. H., Bielskiy, Yu. V., & Klymenko, I. V. (2016). *Adaptive soybean cultivation technology in the Eastern Forest Steppe of Ukraine*. M. A. Bobro (Ed.). Kharkiv: KhNAU. [In Ukrainian]
12. Petrychenko, V. F. (2002). Agroecological evaluation of soybean varieties in the conditions of the Northern Forest Steppe of Ukraine. *Proceedings of VNAU. Series of Agricultural Science*, 11, 3–7. [In Ukrainian]
13. Petrychenko, V. F. (2013). Agro-ecological aspects of the adaptive technology of soybean cultivation in the Western Forest-Steppe. *Handbook of the Ukrainian Bread Grower*, 2, 177–185. [In Ukrainian]
14. Mosondz, N. P. (2014). The formation of soybean productivity depending on the technological measures of cultivation in the conditions of the northern part of the Forest Steppe. *Agriculture*, 1–2, 74–77. [In Ukrainian]
15. Nadkernychna, O. V., Kovalevska, T. M., & Kozar, S. F. (2001). Peculiarities of the effect of some nitrogen-fixing bacteria on the development of soybean plants. *Feeds and Feed Production*, 27, 112–114. [In Ukrainian]
16. Nazarchuk, A. A. (2015). Photosynthetic potential of soybean depending on seed inoculation, nutritional background and variety in the conditions of the steppe of Ukraine. *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science*, 1, 144–151. [In Ukrainian]
17. Haq, M., & Mallarino, A. (2005). Response of soybean grain oil and protein concentrations to foliar and soil fertilization. *Agronomy Journal*, 97(3), 910–918. doi: 10.2134/agronj2004.0215
18. Prysiazhniuk, O. I., Karazhbei, H. M., Leshchuk, N. V., Tsyba, S. V., Mazhuha, K. M., Brovkin, V. V., Symonenko, V. A., & Maslechkin, V. V. (2016). *Statistical analysis of agronomic research data in the Statistica 10 package: methodological guidelines*. Kyiv: Nilan-LTD. [In Ukrainian]

UDC 633.34:631.559:631.8

Kozyrskyi, D. V., Trach, I. V.*, & Sydorak, I. Ya. (2024). Photosynthetic productivity of soybean as affected by inoculation and application of microfertilisers. *Advanced Agritechnologies*, 12(3). <https://doi.org/10.47414/na.12.3.2024.313443> [In Ukrainian]

*Higher Education Institution "Podillia State University", 12 Shevchenko St., Kamianets-Podilskyi, Khmelnytskyi Region, 32316, Ukraine, *e-mail: trach.ivan.v@gmail.com*

Purpose. To determine the effect of seed bacterisation and foliar application of fertilisers on the photosynthetic productivity of soybean varieties in the Western Forest Steppe of Ukraine. **Methods.** A field study was conducted in 2019–2022 in the fields of the Kozatska Dolyna 2006 LLC (Khmelnysk Region). The field experiment was established according to the following design: factor A – seed inoculation: 1) without inoculation, 2) inoculation with Ryzoaktyv; factor B – soybean varieties: ‘Samorodok’, ‘Rohiznianka’, ‘Triada’, ‘Orfei’, ‘Evidika’, ‘Aratta’, ‘Azmut’, and ‘Aurora’; factor C – foliar application of fertilisers: 1) without fertilisation, 2) split application of microfertiliser Fulvohumin. The study was conducted according to general and special methods of research in crop production. **Results.** Patterns of leaf area formation during the flowering period revealed the most significant effect of the applied measures in the second half of the growing season, which proves the need to carry out measures in the first half of the growing season of the crop. In the stage of bean browning, leaf area in varieties ‘Samorodok’, ‘Orfei’, ‘Aratta’ and ‘Evidika’ was 39.1, 38.1, 37.6, and 37.8 thousand m²/ha, respectively. Varieties ‘Rohiznianka’ and ‘Triada’ under similar conditions had a leaf area of 40.0 and 40.1 thousand m²/ha. The highest indicators in the experiment were recorded in ‘Azmut’ and ‘Aurora’: 40.5 and 40.8 thousand m²/ha, respectively. Bacterisation of seeds and foliar application of fertilisers caused the change in the photosynthetic potential of soybean to the extent of their efficacy. That is, even if the studied measure improved the general condition of crops or helped plants to accumulate additional nitrogen, its effect could not be compared with the introduction of additional nitrogen in free form, which was confirmed by the analysis of parameters of the photosynthetic potential of soybean crops. In the flowering stage, the highest indicator of net productivity of photosynthesis was in ‘Samorodok’ (1.55 g/m² per day), while the lowest it was in ‘Rohiznianka’, ‘Triada’ and ‘Aratta’ (1.12, 1.26, and 1.25 g/m² per day, respectively). The rest of varieties had average indicators: ‘Aurora’ 1.36, ‘Evidika’ and ‘Azmut’ 1.43, ‘Orfei’ 1.48 g/m² per day. Under the combined effect of the studied factors, the best varieties were ‘Samorodok’ and ‘Orfei’ with net productivity of 1.58 g/m² per day. **Conclusions.** Foliar application of Fulvohumin microfertiliser contributed to an increase in the leaf area in the stage of bean browning by 2.49 thousand m²/ha compared to the option of background fertilisation. The inoculation of seeds with the biopreparation Ryzoaktyv ensured an increase in this indicator by 2.92 thousand m²/ha compared to options without this measure. Due to the complex influence of these factors, the leaf area of more than 42 thousand m²/ha was recorded in varieties ‘Samorodok’, ‘Triada’ and ‘Azmut’. The highest indicators in the experiment were in varieties ‘Rohiznianka’ and ‘Aurora’: 44.0 and 45.2 thousand m²/ha, respectively. Bacterisation of seeds and foliar application of humates were effective in influencing changes in the photosynthetic potential of soybean crops. In particular, in the stage of bean

formation, when plants were fed with Fulvohumin, PP was 1.20 million m²/ha versus 1.11 million m²/ha in the control variant. The variants of the experiment, in which soybean plants were grown without seed bacterisation, had an average PP of 1.10 million m²/ha, while in the case of the use of the biological preparation Ryzoaktyv, it was 1.22 million m²/ha. In the second half of the growing season, the net productivity of photosynthesis also depended on the influence of the studied factors; however, their role decreased compared to the previous period. In particular, the difference in PP between the variant of foliar application of fertilisers and unfertilised variant was 0.05 g/m² per day, while inoculation contributed to an increase in this trait by 0.08 g/m² per day. However, these are quite insignificant differences in the accumulation of dry matter due to the sufficiently high leaf area.

Keywords: *inoculation; foliar feeding; leaf area; photosynthetic potential.*

Надійшла / Received 25.09.2024
Погоджено до друку / Accepted 14.10.2024