

ФОТОСИНТЕТИЧНА ДІЯЛЬНІСТЬ ПОСІВІВ ПРОСА ЗАЛЕЖНО ВІД ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ У ПРАВОБЕРЕЖНОМУ ЛІСОСТЕПУ

А.В. Голодна, М.В. Гордієнко

ННЦ «ІЗ НААН»

(с-ще Чабани, Фастівський р-н, Київська обл., Україна)

e-mail: ant.golodna@gmail.com; ORCID: 0000-0002-7775-8229

e-mail: Mykolagordienko@gmail.com; ORCID: 0009-0008-7319-1887

Мета статті – визначити ефективність застосування різних варіантів удобрення та біопрепарату у технології вирощування проса посівного. Польові експерименти проводили впродовж 2023–2025 рр. у сівозміні відділу технологій зернобобових, круп'яних і олійних культур ННЦ «ІЗ НААН». Досліджували сорт проса Заповітне, застосовуючи різні дози мінеральних добрив, передпосівне оброблення насіння біопрепаратом Азогран, позакореневе підживлення органо-мінеральним добривом Браман Мультикомплекс у критичні періоди розвитку рослин. Використовували лабораторні, математико-статистичні та порівняльно-розрахункові методи, оцінювали показники індексу листкової поверхні, фотосинтетичний потенціал та чисту продуктивність фотосинтезу посіву. Застосування мінеральних добрив в основне внесення та органо-мінеральних для позакореневого підживлення рослин та біопрепарату сприяло зростанню листкової поверхні посіву, підвищенню фотосинтетичного потенціалу та чистоті продуктивності посіву. Максимальні показники індексу листкової поверхні 7,84 та 7,60 м²/м² за рівня на контрольному варіанті 6,63 м²/м² у фазі викидання волоті відмічали на варіантах технологій вирощування, які включали внесення N₆₀P₆₀K₆₀ + Майстер агро та N₄₅P₆₀K₆₀ + N₁₅, передпосівне оброблення насіння біопрепаратом Азогран і позакореневе підживлення рослин органо-мінеральним добривом Браман Мультикомплекс у фазі кушення. На вказаних варіантах чиста продуктивність фотосинтезу посіву проса була найвищою у міжфазний період стеблуння–викидання волоті і становила, відповідно, 9,0, –9,2 г/м²/добу за показника на контрольному варіанті, який не передбачав застосування вказаних агрозаходів, 8,5 г/м²/добу. Відбувалося подовження тривалості функціонування листкового апарату, про що свідчить фотосинтетичний потенціал у міжфазний період наливу зерна–достигання – відповідно 1,82 і 1,62 млн м²/га х діб за рівня на контролі 1,04 м²/га х діб. За вирощування проса посівного обов'язковими елементами технології вирощування мають бути додавання мінеральних добрив в основне внесення, органо-мінеральних – для позакореневого підживлення у критичні періоди розвитку рослин, а також передпосівне оброблення насіння біологічним препаратом, що забезпечує подовження тривалості функціонування листкового апарату та, як наслідок, підвищення продуктивності культури.

Ключові слова: дози мінеральних добрив, передпосівне оброблення насіння, позакореневе підживлення, індекс листкової поверхні, фотосинтетичний потенціал посіву, чиста продуктивність фотосинтезу посіву.

ВСТУП

Просо посівне (*Panicum miliaceum* L.) належить до стародавніх сільськогосподарських культур, яке на території України вирощується з часів трипільської культури [1]. У сучасних глобальних умовах кліматичних змін, зростання посушливості та необхідності диверсифікації зернового виробництва ця культура набуває особливого

значення. Просо, завдяки властивому йому С4-типу фотосинтезу, характеризується високою посухостійкістю, коротким періодом вегетації та здатністю формувати врожай навіть за несприятливих погодних умов, що робить його важливим резервом продовольчої безпеки. Фізіологічна особливість цієї культури полягає у здатності підтримувати високу інтенсивність асиміляції вуглецю навіть в умовах термічного

стресу, що є визначальною ознакою для гарантування стабільного виробництва зерна в умовах змін клімату [2].

Незважаючи на тривалу історію культивування, технологія вирощування проса потребує вдосконалення з урахуванням сучасних агрономічних знань, нових сортів та змінюваних кліматичних умов [3].

Мета досліджень — визначити вплив варіантів основного удобрення, передпосівного оброблення насіння біопрепаратом, позакореневого підживлення органомінеральним добривом у критичні періоди розвитку рослин проса посівного, а також їх поєднання у технології вирощування на формування та функціонування листкової поверхні та чистої продуктивності посіву.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Просо посівне у сівозміні зазвичай вирощують за післядії добрив, що не дає змоги повністю розкрити генетичний потенціал сорту і сформувати максимальний урожай якісного зерна [4; 5]. Доведено такими іноземними вченими, як R. Guo, G. Nan et al. [6; 7], що внесення мінеральних добрив (фосфорних і калійних — воєни під оранку, азотних — під передпосівну культивуацію та у фазі кушення), є необхідним агрозаходом у технології вирощування культури. Щодо застосування азотних добрив, які сприяють посиленню динаміки ростових процесів, збільшенню листкового апарату рослин проса, що сприяє підвищенню продуктивності агроценозу висвітлено у працях S.K. Sharma, L. He et al. [8; 9]. Управління режимом азотного живлення постає ключовим інструментом пролонгації роботи листкового апарату, що допомагає уникнути функціональної депресії фотосинтезу у критичні фази онтогенезу, зокрема у період формування волоті [10].

Рівень урожайності значною мірою визначається фотосинтетичною діяльністю посівів, тому завдання технології в рослинництві, що досліджувала М.І. Кулик із колегами [11] — створення оптимальних умов для росту, розвитку та формування

продуктивності культури, за яких посіви ефективно використовують сонячну енергію. Відомо, що біомаса рослин формується на 25% — за рахунок поглинутих мінеральних речовин та на 75% з продуктів фотосинтезу. Інтенсивність фотосинтезу рослин зумовлюється як особливостями культури і навіть сорту, так і умовами довкілля (освітленістю, забезпеченням вологою та елементами живлення, технологічними агрозаходами) [12]. Реалізація фотосинтетичного потенціалу посіву перебуває у прямій залежності водночас як від його архітектоніки, так і часових меж активного функціонування асиміляційного апарату, що відкриває можливості для корекції цих параметрів через технологічні важелі, зокрема, перенесення частини азотних добрив у підживлення та застосування органомінеральних добрив у критичні періоди росту рослин проса [13].

Робота М.Г. Собко та ін. [14] акцентується на важливості не лише досягнути оптимальної площі листкової поверхні, а й створити умови для активного функціонування та підтримання в робочому стані впродовж якнайдовшого періоду.

О.О. Стасик із співавт. [15] пропонує інтенсифікацію технологій через використання препаратів на основі біологічно активних компонентів, а також мікродобрив забезпечує істотне зростання чистої продуктивності фотосинтезу, гарантує стабільне накопичення сухої біомаси за несприятливого гідротермічного фону [16].

Сучасний вектор наукових пошуків дедалі частіше зосереджується на детермінації продукційного процесу проса саме через призму його фотосинтетичної активності. Досліджено С. Nabyayemye [17], що адаптивність С4-злаків до впливу абіотичних чинників корелює із вмістом фотосинтетичних пігментів та динамікою наростання асиміляційної поверхні.

Попри значну теоретичну базу, синергійний вплив сучасних біопрепаратів, як-от Азогран, та комплексних позакорневих підживлень на фотосинтетичну діяльність проса в специфічних умовах Правобережного Лісостепу України залишається ви-

вченим недостатньо. Це обумовлює необхідність проведення досліджень щодо пошуку оптимальних моделей живлення, які б забезпечували максимальну продуктивність культури. Актуальність дослідження питань технології вирощування проса зумовлена необхідністю підвищення його продуктивності, поліпшення якості зерна та адаптації агротехнічних прийомів до конкретних ґрунтово-кліматичних зон.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження здійснювали впродовж 2023–2025 рр. у стаціонарному досліді відділу технологій зернобобових, круп'яних і олійних культур. Ґрунт дослідної ділянки темно-сірий опідзолений крупнопилувато-легкосуглинковий, 0–20 см шар якого містив гумусу 1,49–1,71% (за Тюриним), азоту, що легко гідролізується 68,6–78,4 мг/кг (за Корнфілдом), фосфору — 140–160 мг/кг, калію — 55–70 мг/кг ґрунту (за Кірсановим), з $pH_{\text{сол.}}$ 5,2–5,7. Згідно з ДСТУ 4362:2004 [18] ґрунт характеризується низьким умістом гумусу, дуже низьким умістом азоту, що гідролізується, високим умістом фосфору та низьким умістом калію. За кислотністю відноситься до слабокислих та близьких до нейтральних.

Схема досліду включала вивчення варіантів удобрення: без добрив (контроль); $N_{60}P_{60}K_{60}$; $N_{60}P_{60}K_{60}$ + прикореневе підживлення рослин Майстер Агро (IV е.о.); $N_{60}P_{60}K_{60}$ + N_{15} (IV е.о.); позакореневе підживлення рослин органо-мінеральним добривом Браман Мультикомплекс у нормі 2 л/га: без підживлення, підживлення на IV та VII етапах органогенезу. Передпосівне оброблення насіння біопрепаратом Азогран: без оброблення, оброблення Азогран.

Сівбу проса сорту Заповітне проводили за досягання фізичної стиглості ґрунту та його прогрівання на глибині загортання насіння 13–15°C (перша—друга декада травня) звичайним рядковим способом із нормою висіву 4,0 млн/га схожих насінин. Попередником проса була пшениця озима. Технологія вирощування відповідала реко-

мендованій у зоні проведення досліджень, за винятком агрозаходів, що вивчали.

Закладання дослідів та виконання польових і лабораторних досліджень здійснювали згідно з методикою наукових досліджень в агрономії [19].

Повторність дослідів — чотириразова. Загальна площа під дослідом — 0,6 га, облікової ділянки — 50 м².

Використовували методи: польових досліджень — для проведення фенологічних спостережень за фазами росту та розвитку рослин; вимірювальних-ваговий — для визначення біометричних показників рослин, розрахунковий — для підрахунку показників фотосинтетичної діяльності культури; дисперсійний та статистично-математичний — для здійснення статистичної обробки даних і дисперсійного аналізу.

Азогран — наноккомпозитний бактеріальний препарат комплексної дії, що містить $1 \cdot 10^8$ кл/г *Bacillus subtilis* IMB В-7023 та $1 \cdot 10^8$ кл/г *Azotobacter vinelandii* IMB В-7076 з концентрацією діючої речовини $(2-9) \cdot 10^8$ КУО/г препарату. В 1 л міститься 100 мл суспензії бактерій і 900 мл прилипачу на основі наночастинок природного мінералу. Розроблений Інститутом мікробіології і вірусології імені Д.К. Заболотного НАН України.

Майстер агро — це водорозчинне органо-мінеральне добриво для кореневого підживлення рослин, до складу якого входять макро- (N — 15%, P₂O₅ — 17, K₂O — 28%) та мікроелементи (Mg — 0,5%, F — 0,2, Cu — 0,05, Mn — 0,1%), а також амінокислоти, фітогормони й вітаміни.

Браман Мультикомплекс — органо-мінеральне добриво з високим умістом макро- та мікроелементів у хелатованій формі: N — 190 г/л, P₂O₅ — 68, K₂O — 42 г/л та мікроелементи SO₃ — 30 г/л, Fe — 6, Cu — 7,5, Zn — 8,5, B — 6, Mn — 6, Co — 0,04, Mo — 0,1 г/л.

Площу листової поверхні визначали методом лінійних вимірювань за формулою:

$$S_n = 0,67ab,$$

де Sn — площа одного листка, $см^2$; a — найбільша ширина листка, $см$; b — довжина листка, $см$, $0,67$ — коефіцієнт, який відображає конфігурацію листка [20].

Індекс листової поверхні, фотосинтетичний потенціал та чисту продуктивність фотосинтезу розраховували згідно з прийнятими методиками [21–23] за наведені в статті міжфазні періоди росту та розвитку рослин.

Обробку отриманих результатів здійснювали за допомогою програмного забез-

печення Microsoft Excel. Для аналізу та узагальнення результатів власних досліджень застосовували методики математичної статистики.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Аналіз розрахованих значень індексу листової поверхні рослин проса в динаміці показав, що досліджувані агрозаходи мали значний вплив на цей показник (табл. 1).

Таблиця 1. Індекс листової поверхні проса залежно від варіанта удобрення та оброблення насіння, середнє за 2023–2025 рр., $м^2/м^2$

Варіанти удобрення	Фаза росту та розвитку*	Без оброблення насіння			Оброблення біопрепаратом Азогран		
		підживлення рослин					
		без підживлення	у фазі кушення	у фазі викидання волоті	без підживлення	у фазі кушення	у фазі викидання волоті
Без добрив (контроль)	1	1,19	1,16	1,18	1,31	1,37	1,36
	2	3,13	3,26	3,12	3,42	3,58	3,31
	3	5,15	5,94	5,20	6,00	6,63	5,79
	4	1,88	2,78	2,19	3,22	3,63	3,22
	5	0,71	1,37	1,45	1,01	1,80	1,90
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1	1,81	1,87	1,83	2,23	2,22	2,25
	2	4,14	4,44	4,14	4,63	4,76	4,63
	3	6,39	6,96	6,36	6,99	7,14	7,07
	4	4,34	4,94	4,69	4,83	4,98	4,70
	5	1,29	1,55	2,00	2,12	2,27	2,67
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Майстер агро	1	2,02	2,09	2,05	2,18	2,25	2,28
	2	4,14	4,41	4,14	4,30	4,75	4,48
	3	6,55	7,36	6,46	6,78	7,84	7,10
	4	4,42	4,75	4,36	4,75	5,24	5,94
	5	1,79	1,84	2,01	2,08	2,29	2,65
N ₄₅ P ₆₀ K ₆₀ + N ₁₅	1	2,09	2,05	2,04	2,30	2,28	2,36
	2	4,42	4,51	4,24	4,54	5,17	4,67
	3	6,63	7,07	6,67	7,30	7,60	7,30
	4	4,25	4,34	4,28	4,87	4,62	4,02
	5	1,90	1,95	2,15	2,37	2,39	2,75
V, %	1	23,0	24,1	23,1	23,2	21,7	22,8
	2	14,3	14,4	13,5	13,1	15,0	15,1
	3	11,2	9,1	10,7	8,2	7,3	10,1
	4	33,1	23,3	29,4	18,1	15,3	25,8
	5	38,3	15,8	16,3	31,9	12,1	15,9

Примітки: * — фаза росту та розвитку рослин проса: 1 — кушення; 2 — стеблуння; 3 — викидання волоті; 4 — наливу зерна; 5 — дозрівання.

У фазі кушення посівом проса формувався листкова поверхня $1,16-2,36 \text{ м}^2/\text{м}^2$. На варіантах із внесенням $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ індекс листової поверхні формувався більшим на $0,78 \text{ м}^2/\text{м}^2$, або на 61,9%, порівняно з показником на варіантах без застосування добрив $1,26 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Внесення $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60} + \text{Майстер агро}$ сприяло зростанню індексу листової поверхні на $0,89 \text{ м}^2/\text{м}^2$, або на 70,6%, внесення $\text{N}_{45}\text{P}_{60}\text{K}_{60} + \text{N}_{15}$ — на $0,93 \text{ м}^2/\text{м}^2$, або на 73,8%. На варіантах, сівбу яких проводили насінням, обробленим біопрепаратом Азогран, збільшення становило $0,24 \text{ м}^2/\text{м}^2$, або на 13,4% за показника на варіантах без проведення агрозаходу — $1,79 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

До фази стеблуння індекс листової поверхні проса зростав, залежно від варіанта досліджень, у 2,2–2,7 разів і сягав від $3,12$ до $5,17 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

За внесення $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ індекс листової поверхні посіву формувався більшим на $1,16 \text{ м}^2/\text{м}^2$, або на 35,2%, внесення $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60} + \text{Майстер агро}$ — на $1,07 \text{ м}^2/\text{м}^2$, або на 32,4%, внесення $\text{N}_{45}\text{P}_{60}\text{K}_{60} + \text{N}_{15}$ — на $1,29 \text{ м}^2/\text{м}^2$, або на 39,1% за рівня показника на варіантах без застосування мінеральних добрив у середньому $3,30 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

Передпосівне оброблення насіння біопрепаратом Азогран позитивно вплинуло на формування листової поверхні посівом на $0,36 \text{ м}^2/\text{м}^2$, або на 9,0% більшою, порівняно з варіантами без оброблення ($4,00 \text{ м}^2/\text{м}^2$). На варіантах із позакореневим підживленням рослин органомінеральним добривом Браман Мультикомплекс у фазі кушення індекс листової поверхні посіву становив $4,37 \text{ м}^2/\text{м}^2$, що перевищувало контрольні варіанти без підживлення на $0,25 \text{ м}^2/\text{м}^2$, або на 7,1%.

У фазі викидання волоті відмічали максимальні показники індексу листової поверхні — від $5,15$ до $7,84 \text{ м}^2/\text{м}^2$, відбулося збільшення рівня показника, порівняно з фазою стеблуння, в 1,5–1,7 разів. На варіантах зі внесенням $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ показник був вищим за його рівень на контрольному варіанті ($5,79 \text{ м}^2/\text{м}^2$) на $1,03 \text{ м}^2/\text{м}^2$, або на 17,8%, за внесення $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60} + \text{Майстер агро}$ — на $1,23 \text{ м}^2/\text{м}^2$, або на 21,2%, за до-

дання $\text{N}_{45}\text{P}_{60}\text{K}_{60} + \text{N}_{15}$ — на $1,31 \text{ м}^2/\text{м}^2$, або на 22,6%. Передпосівне оброблення насіння проса біопрепаратом Азогран сприяло збільшенню індексу листової поверхні посіву на $0,58 \text{ м}^2/\text{м}^2$, або на 9,1%, порівняно з показником на варіантах без оброблення $6,39 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Позакореневе підживлення рослин проса органомінеральним добривом Браман Мультикомплекс у фазі кушення позитивно вплинуло на збільшення рівня показника на $0,59 \text{ м}^2/\text{м}^2$, або на 9,1%, порівняно з його значенням на варіантах без проведення агрозаходу $6,48 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

Як стверджують А.А. Ничипорович та ін. (1961), для формування максимальної врожайності зерна індекс листової поверхні культур має становити 4–5 $\text{м}^2/\text{м}^2$. Однак, дослідженнями А.С. Кононова (2009) підтверджено, що показник може варіювати залежно від культури від 2 до 7 $\text{м}^2/\text{м}^2$. Наприклад, для пшениці характерним є індекс листової поверхні 2,5–4,0 $\text{м}^2/\text{м}^2$, для гороху — 8,2–11,0 $\text{м}^2/\text{м}^2$.

Максимальний показник індексу листової поверхні посіву проса у досліді ($7,84 \text{ м}^2/\text{м}^2$) фіксували на варіанті, який передбачав внесення $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60} + \text{Майстер агро}$, сівбу насінням, обробленим біопрепаратом Азогран та позакореневе підживлення рослин органомінеральним добривом Браман Мультикомплекс у фазі кушення.

У фазі наливу зерна відмічали зменшення рівня показника до $1,88-5,94 \text{ м}^2/\text{м}^2$, або в 1,3–2,7 разів. На варіантах без застосування мінеральних добрив індекс листової поверхні посіву залишався на рівні $2,82 \text{ м}^2/\text{м}^2$. На варіантах зі внесенням $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ індекс листової поверхні був більшим на $1,93 \text{ м}^2/\text{м}^2$, або на 68,4%, за внесення $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60} + \text{Майстер агро}$ — на $2,09 \text{ м}^2/\text{м}^2$, або на 74,1%, за внесення $\text{N}_{45}\text{P}_{60}\text{K}_{60} + \text{N}_{15}$ — на $1,58 \text{ м}^2/\text{м}^2$, або на 56,0%. Передпосівне оброблення насіння біопрепаратом Азогран сприяло функціонуванню більшої листової поверхні на $0,53 \text{ м}^2/\text{м}^2$, або на 14,5%, порівняно з варіантами без оброблення ($3,93 \text{ м}^2/\text{м}^2$). Позакореневе підживлення рослин органомінеральним добривом Браман Мультикомплекс у фазі кушення позитивно

вплинуло на посилення рівня показника на $0,34 \text{ м}^2/\text{м}^2$, або на 8,4%, у фазі викидання волоті — на $0,11 \text{ м}^2/\text{м}^2$, або на 2,7%, порівняно з показником на варіантах без проведення агрозаходу $4,07 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

До фази досягання зерна індекс листової поверхні посіву був незначним і становив від 0,71 до $2,75 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Через розподіл пластичних речовин у рослинах, що спричиняло відмирання листків, його розміри зменшились у 2,2–2,6 рази, порівняно з фазою наливу зерна. Навіть наприкінці періоду вегетації проса відмічали вплив на індекс листової поверхні досліджуваних агрозаходів. На варіантах зі внесенням $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ показник залишався більшим на $0,61 \text{ м}^2/\text{м}^2$, або на 44,5%, порівняно з варіантами без добрив ($1,37 \text{ м}^2/\text{м}^2$), зі внесенням $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ + Майстер агро — на $0,74 \text{ м}^2/\text{м}^2$, або на 54,0%, з додаванням $\text{N}_{45}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ + N_{15} — на $0,88 \text{ м}^2/\text{м}^2$, або на 64,2%. Передпосівне оброблення насіння біопрепаратом Азогран забезпечувало зростання індексу листової поверхні посіву на $0,52 \text{ м}^2/\text{м}^2$, або на 31,1%, за показника на варіантах без оброблення $1,67 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Позакореневе підживлення органомінеральним добривом Браман Мультикомплекс у фазі кушення сприяло збереженню індексу листової поверхні більшої на $0,28 \text{ м}^2/\text{м}^2$, або на 16,9%, у фазі викидання волоті — на $0,54 \text{ м}^2/\text{м}^2$, або на 32,5% за рівня на варіантах без підживлення $1,66 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

Індекс листової поверхні посіву характеризують їх стан на певному етапі розвитку культури. Оцінити продуктивність посіву впродовж міжфазних періодів росту та розвитку і періоду вегетації загалом можливо шляхом визначення сумарної роботи листків упродовж вказаних періодів, тобто фотосинтетичного потенціалу посіву (ФПП), який є інтегральним показником фотосинтезу рослин та важливою ознакою, що визначає рівень врожаю культури [24; 25]. Авторами було встановлено позитивний взаємозв'язок фотосинтетичного потенціалу рослин проса з площею листової поверхні та тривалістю міжфазних періодів, тобто чим довше листок перебував у функціональному стані, тим інтенсивні-

шими були процеси формування продуктивності.

Аналіз отриманих нами результатів досліджень свідчить про значну залежність рівня показника від досліджуваних агрозаходів (табл. 2). У міжфазний період кушення–стеблування ФПП проса був невисоким і коливався у межах від 0,32 до $0,55 \text{ млн м}^2/\text{га} \times \text{діб}$. На варіантах зі внесенням $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ та $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ + Майстер агро показник становив $0,48 \text{ млн м}^2/\text{га} \times \text{діб}$, що перевищувало варіанти без добрив ($0,35 \text{ млн м}^2/\text{га} \times \text{діб}$) на $0,13 \text{ млн м}^2/\text{га} \times \text{діб}$, або на 37,1%, за внесення $\text{N}_{45}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ + N_{15} перевищення становило $0,15 \text{ млн м}^2/\text{га} \times \text{діб}$, або на 42,9%.

На варіантах, сівбу яких проводили насінням, обробленим біопрепаратом Азогран, ФПП був більшим на $0,04 \text{ млн м}^2/\text{га} \times \text{діб}$, або на 9,3%, порівняно з варіантами без проведення агрозаходу ($0,43 \text{ млн м}^2/\text{га} \times \text{діб}$).

У міжфазний період стеблування–викидання волоті ФПП перевищував показник попереднього періоду в 1,5–1,7 рази і сягав від 0,55 до $0,85 \text{ млн м}^2/\text{га} \times \text{діб}$. На варіантах, які передбачали внесення $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$, рівень показника був вищим за контрольний варіант ($0,61 \text{ млн м}^2/\text{га} \times \text{діб}$) у середньому на $0,14 \text{ млн м}^2/\text{га} \times \text{діб}$, або на 23,0%, за внесення $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ + Майстер агро — на $0,15 \text{ млн м}^2/\text{га} \times \text{діб}$, або на 24,6%, за додавання $\text{N}_{45}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ + N_{15} — на $0,17 \text{ млн м}^2/\text{га} \times \text{діб}$, або на 27,9%.

Передпосівне оброблення насіння біопрепаратом Азогран сприяло збільшенню рівня показника на $0,05 \text{ млн м}^2/\text{га} \times \text{діб}$, або на 7,1% за його значення на варіантах без оброблення $0,70 \text{ млн м}^2/\text{га} \times \text{діб}$. Позакореневе підживлення рослин органомінеральним добривом Браман Мультикомплекс у фазі кушення сприяло формуванню більшого ФПП на $0,06 \text{ млн м}^2/\text{га} \times \text{діб}$, або на 8,5%, порівняно з варіантами без підживлення ($0,71 \text{ млн м}^2/\text{га} \times \text{діб}$).

До міжфазного періоду викидання волоті — наливу зерна ФПП збільшився в 1,1–1,4 рази, порівняно з попереднім міжфазним періодом і становив від 0,63 до $1,18 \text{ млн м}^2/\text{га} \times \text{діб}$. Зростання рівня показника за внесення $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ сягало у се-

Таблиця 2. Фотосинтетичний потенціал посіву проса залежно від варіанта удобрення та оброблення насіння, середнє за 2023–2025 рр., млн м²/га × діб

Варіанти удобрення	Міжфазні періоди росту та розвитку*	Без оброблення насіння			Оброблення біопрепаратом Азогран		
		підживлення рослин					
		без підживлення	у фазі кущення	у фазі викидання волоті	без підживлення	у фазі кущення	у фазі викидання волоті
Без добрив (контроль)	1	0,32	0,38	0,32	0,36	0,36	0,36
	2	0,55	0,61	0,55	0,63	0,68	0,61
	3	0,63	0,78	0,67	0,83	0,92	0,79
	4	0,55	0,88	0,97	0,89	1,15	1,04
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1	0,44	0,46	0,44	0,50	0,51	0,50
	2	0,70	0,76	0,70	0,77	0,79	0,78
	3	0,97	0,98	0,99	1,06	1,09	1,06
	4	1,19	1,16	1,41	1,47	1,53	1,56
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Майстер агро	1	0,45	0,48	0,45	0,48	0,51	0,48
	2	0,71	0,78	0,70	0,74	0,84	0,77
	3	0,99	1,00	0,97	1,04	1,18	1,17
	4	1,31	1,18	1,35	1,44	1,59	1,82
N ₄₅ P ₆₀ K ₆₀ + N ₁₅	1	0,48	0,48	0,48	0,50	0,55	0,50
	2	0,75	0,77	0,73	0,79	0,85	0,80
	3	1,04	1,00	0,99	1,10	1,10	1,10
	4	1,39	1,27	1,36	1,53	1,48	1,62
V, %	1	16,7	10,6	16,7	14,6	17,4	14,6
	2	12,9	11,0	12,1	9,7	9,9	11,8
	3	20,6	11,4	17,3	12,0	10,2	16,1
	4	34,4	15,0	16,0	22,3	13,7	22,0

Примітки: * – міжфазні періоди росту і розвитку рослин проса: 1 – кущення–стеблуння; 2 – стеблуння–викидання волоті; 3 – викидання волоті–налив зерна; 4 – наливу зерна–дозрівання.

редньому 0,26 млн м²/га × діб, або 33,8%, за додавання N₆₀P₆₀K₆₀ + Майстер агро та N₄₅P₆₀K₆₀ + N₁₅ – 0,29 млн м²/га × діб, або 37,7%, порівняно з показником на варіантах без добрив 0,77 млн м²/га × діб. Передпосівне оброблення насіння біопрепаратом Азогран сприяло підвищенню рівня показника на 0,12 млн м²/га × діб, або на 13,0% за його значення на варіантах без оброблення 0,92 млн м²/га × діб. Позакореневе підживлення рослин органо-мінеральним добривом Браман Мультикомплекс у фазі кущення позитивно вплинуло на формування більшого ФПП на 0,05 млн м²/га × діб, або на 5,2%, у фазі викидання волоті – на 0,01 млн м²/га × діб, або лише на 1,0%, порівняно з варіантами без підживлення (0,96 млн м²/га × діб).

Максимальні значення ФПП були у міжфазний період наливу зерна – дозрівання – у межах 0,55–1,59 млн м²/га × діб. Відбулося зростання, порівняно з попереднім міжфазним періодом, у 1,3 раза. На варіантах зі внесенням N₆₀P₆₀K₆₀ рівень показника був більшим на 0,50 млн м²/га × діб, або на 56,2%, з додаванням N₆₀P₆₀K₆₀ + Майстер агро та N₄₅P₆₀K₆₀ + N₁₅ – 0,55 і 0,54 млн м²/га × діб, або 62,9 і 61,8%, порівняно з показником на варіантах без добрив 0,89 млн м²/га × діб. Передпосівне оброблення насіння біопрепаратом Азогран сприяло збільшенню рівня показника на 0,33 млн м²/га × діб, або на 24,3% за його значення на варіантах без оброблення 1,15 млн м²/га × діб. Позакореневе підживлення рослин органо-мінеральним добри-

вом Браман Мультикомплекс у фазі кушення сприяло формуванню більшого ФПП на 0,06 млн м²/га × діб, або на 4,9%, у фазі викидання волоті — на 0,15 млн м²/га × діб, або на 12,3%, порівняно з варіантами без підживлення (1,22 млн м²/га × діб).

Показником, який чітко характеризує динаміку формування врожаю, показує процес накопичення кількості сухої маси квадратним метром листової поверхні посіву за добу, є чиста продуктивність фотосинтезу посіву (ЧПФ). Цей показник окреслено визначає агрозаходи, які сприяють накопиченню органічної речовини рослинами завдяки фотосинтетичній діяльності та спрямовують в запасні речовини до органів, що формують урожай. Як стверджують А.А. Ничипорович та ін. (1961), значення показників чистої продуктивності фотосинтезу 3–4 г/м² за добу вважаються задовільними, 4–6 г/м² за добу — хорошими, понад 6 г/м² за добу — дуже хорошими.

Аналіз отриманих нами показників ЧПФ показує чітку залежність їх рівня від досліджуваних агрозаходів (табл. 3).

У міжфазний період кушення–стеблування чиста продуктивність фотосинтезу посіву знаходилась у межах 3,2–4,5 г/м²/добу, та була переважно задовільною. На варіантах, які не передбачали внесення мінеральних добрив, показник становив у середньому 3,4 г/м²/добу. За додавання N₆₀P₆₀K₆₀ фіксували зростання рівня показника на 0,2 г/м²/добу, або на 5,9%, за внесення N₆₀P₆₀K₆₀ + Майстер агро — на 1,0 г/м²/добу, або на 29,4%, за додавання N₄₅P₆₀K₆₀ + N₁₅ — на 0,5 г/м²/добу, або на 14,7%. Передпосівне оброблення насіння біопрепаратом Азогран підвищувало рівень накопичення сухої маси на 0,1 г/м²/добу, або на 2,6% за показника на варіантах без оброблення 3,8 г/м²/добу.

У міжфазний період стеблування — викидання волоті ЧПФ зростала в 1,4–2,0 рази, порівняно з попереднім міжфазним періодом, і становила 6,4–9,2 г/м²/добу. Ці показники відповідають рівню дуже хорошого накопичення посівами сухої маси. На варіантах зі внесенням N₆₀P₆₀K₆₀ накопичувалося на 0,2 г/м²/добу, або на 5,4% біль-

ше сухої маси, порівняно з варіантами без додавання мінеральних добрив (7,4 г/м² за добу). Зі внесенням N₆₀P₆₀K₆₀ + Майстер агро та N₄₅P₆₀K₆₀ + N₁₅ посіви накопичували сухої маси більше на 1,0 г/м²/добу, або на 13,3%. Передпосівне оброблення насіння біопрепаратом Азогран сприяло збільшенню рівня показника на 1,2 г/м²/добу, або на 16,2%, порівняно з варіантами без оброблення (7,4 г/м²/добу). Позакореневе підживлення органічно-мінеральним добривом Браман Мультикомплекс у фазі кушення позитивно вплинуло на зростання рівня показника на 0,4 г/м²/добу, або на 5,1%, порівняно з варіантами без проведення агрозаходу (7,9 г/м²/добу).

Міжфазний період викидання волоті — наливу зерна характеризувався зниженням рівня показників ЧПФ у 1,2–1,3 раза, до 5,3–6,9 г/м²/добу, до того ж переважна їх кількість були дуже хорошими, тобто становила понад 6 г/м²/добу. На варіантах із використанням N₆₀P₆₀K₆₀ показник формувався на 0,4 г/м²/добу, або на 6,9% більшим, порівняно з варіантами без застосування мінеральних добрив (5,8 г/м²/добу). За внесення N₆₀P₆₀K₆₀ + Майстер агро та N₄₅P₆₀K₆₀ + N₁₅ відмічали підвищення рівня показника на 0,6 г/м²/добу, або на 10,3%. Передпосівне оброблення насіння біопрепаратом Азогран сприяло посиленню рівня показника на 0,2 г/м²/добу, або на 3,3%, порівняно з варіантами без проведення агрозаходу (6,1 г/м²/добу). Позакореневе підживлення проса органічно-мінеральним добривом Браман Мультикомплекс у фазі гілкування позитивно вплинуло на підвищення рівня показника на 0,4 г/м²/добу, або на 6,8%, у фазі викидання волоті — на 0,6 г/м²/добу, або на 10,2%, порівняно з показником на варіантах без підживлення 5,9 г/м²/добу.

Наприкінці періоду вегетації, у міжфазний період наливу зерна — досягання, показники ЧПФ проса зменшувалися в 1,9–3,3 раза, порівняно з показниками у попередній міжфазний період, були незначними і сягали від 1,6 до 3,6 г/м²/добу. На варіантах без мінеральних добрив рівень показника становив 2,0 г/м²/добу. Внесен-

Таблиця 3. Динаміка ЧПФ посіву проса залежно від варіанта удобрення та оброблення насіння, середнє за 2023–2025 рр., г/м²/добу

Варіанти удобрення	Міжфазні періоди росту та розвитку*	Без оброблення насіння			Оброблення біопрепаратом Азогран		
		підживлення рослин					
		без підживлення	у фазі кущення	у фазі викидання волоті	без підживлення	у фазі кущення	у фазі викидання волоті
Без добрив (контроль)	1	3,2	3,2	3,3	3,5	3,5	3,6
	2	6,4	6,7	6,5	8,2	8,5	8,1
	3	5,6	5,8	5,3	5,8	6,0	6,1
	4	1,6	1,9	2,1	1,7	2,0	2,7
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1	3,5	3,6	3,5	3,6	3,6	3,6
	2	7,2	7,4	7,1	8,1	8,7	8,2
	3	5,7	6,1	6,4	5,9	6,4	6,8
	4	2,3	2,4	2,6	2,8	3,4	3,6
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Майстер агро	1	4,4	4,5	4,4	4,4	4,4	4,5
	2	7,9	8,3	8,0	8,6	9,0	8,5
	3	5,9	6,5	6,8	6,1	6,5	6,6
	4	2,5	3,0	3,2	2,6	3,2	3,4
N ₄₅ P ₆₀ K ₆₀ + N ₁₅	1	3,7	3,9	3,9	3,7	4,1	4,0
	2	7,5	8,4	7,7	8,8	9,2	8,7
	3	5,6	6,3	6,5	6,3	6,6	6,9
	4	2,4	2,5	2,9	2,5	2,7	3,0
V, %	1	13,8	14,4	12,9	10,7	10,9	10,9
	2	8,8	10,4	9,1	3,9	3,5	3,3
	3	2,5	4,8	10,5	3,7	4,1	5,4
	4	18,6	18,4	17,4	20,1	22,1	12,7

Примітки: * – міжфазні періоди росту і розвитку рослин проса: 1 – кущення–стеблуння; 2 – стеблуння–викидання волоті; 3 – викидання волоті–налив зерна; 4 – наливу зерна–дозрівання.

ня N₆₀P₆₀K₆₀ зумовило його зростання на 0,9 г/м²/добу, або на 45,0%, N₆₀P₆₀K₆₀ + Майстер агро – на 1,0 г/м²/добу, або на 50,0%, та N₄₅P₆₀K₆₀ + N₁₅ – на 0,7 г/м²/добу, або на 35,0%. Передпосівне оброблення насіння біопрепаратом Азогран допомагало збільшенню показника на 0,3 г/м²/добу, або на 12,0%, порівняно з варіантами без оброблення (2,5 г/м²/добу). Позакореневе підживлення рослин органо-мінеральним добривом Браман Мультикомплекс у фазі гілкування сприяло підвищенню рівня показника на 0,4 г/м²/добу, або на 17,4%, у фазі викидання волоті – на 0,7 г/м²/добу, або на 30,4%, порівняно з показником на варіантах без підживлення 2,3 г/м²/добу. Отримані нами показники підтверджуються результатами досліджень інших авторів

[26]. На думку вченого, у проса частина листків зберігає фотосинтетичну здатність навіть наприкінці періоду вегетації, що сприяє інтенсивнішому процесу наливу зерна.

ВИСНОВКИ

За вирощування проса посівного ефективним є застосування мінеральних добрив у поєднанні з органо-мінеральними та внесення біологічних препаратів, що забезпечує подовження тривалості функціонування листового апарату та, як наслідок, підвищення продуктивності культури. Оптимальні умови для фотосинтетичної діяльності посіву проса склалися на варіантах технології вирощування, які включали внесення N₆₀P₆₀K₆₀ + Майстер

агро та $N_{45}P_{60}K_{60} + N_{15}$, передпосівне оброблення насіння біопрепаратом Азогран та позакореневе підживлення рослин органо-мінеральним добривом Браман Мультикомплекс. На вказаних варіантах чиста продуктивність фотосинтезу посіву проса була найвищою у міжфазний період стеблущавання — викидання волоті і становила, відповідно, 9,0, 9,2 г/м²/добу за показника на контрольному варіанті 8,5 г/м²/добу. Відбувалося подовження тривалості функціонування листкового апарату, про

що свідчить фотосинтетичний потенціал у міжфазний період наливу зерна — досягання — відповідно 1,82 і 1,62 млн м²/га діб за рівня на контролі 1,04 м²/га × діб.

Аналіз закономірностей фотосинтетичної діяльності посіву дає можливість визначити оптимальний варіант технології вирощування проса та розробити заходи для забезпечення максимальної реалізації потенціалу сорту, отримання стабільно високого рівня врожайності цінної для харчування культури.

ЛІТЕРАТУРА

- Dalton, J., & Videiko, Yu. (2020). *Contourous and Contents of the Ghost: Trypilia Culture proto-cities*. URL: Memoria-Antiquitatis-Acta-Musei-Petrodavensis-XXIV-2007-12.pdf.
- Рябчун, Н. І. (2013). Фотосинтез та врожайність зернових культур. *Пропозиція*, 5, 60–62.
- Рудік, О. Л., Заєць, С. О., & Чуган, В. В. (2025). Вплив фону живлення на формування продуктивності проса посівного за післяжнивного вирощування в умовах зрошення. *Вісник аграрної науки*, 10(871), 5–12. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202510-01>.
- Беленіхіна, А. В., Костромітін, В. С., & Музафаров, І. Г. (2012). Фактори підвищення урожайності проса. *Агробізнес сьогодні*, 6, 28–35.
- Марченко, Т. Ю., & Лавриненко, Ю. О. (2021). Формування врожайності проса залежно від фізіолого-генетичних особливостей сортів в умовах Півдня України. *Зрошуване землеробство*, 75, 12–16. DOI: <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2021.75.2>.
- Guo, R., Ren, Y., & Ren, G. (2025). Impacts of Fertilizers with Varying Nitrogen Contents on Millet Yield and Rhizosphere Soil Microbial Communities: Implications for Sustainable Agricultural Development. *Sustainability*, 17(4), 1557. DOI: <https://doi.org/10.3390/su17041557>.
- Han, G., Wang, J., & Zhao, Y. (2023). Response of quality and yield of foxtail millet to nitrogen and zink application. *Agriculture*, 13(9), 1731. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13091731>.
- Sharma, S. K., Sharma, P. K., & Mandee-wal, R. L. (2022). Effect of foliar application of nano-urea under different nitrogen levels on growth and nutrient content of pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.). *International Journal of Plant and Soil Science*, 34(20), 149–155. DOI: <https://doi.org/10.9734/IJPSS/2022/v34i2031138>.
- He, L., Han, Z., & Feng, X. (2022). Effects of Nitrogen Application Rate on Photosynthetic Characteristics and Grain Yield of Proso Millet. *Plants*, 11(13), 1713–1720. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11131713>.
- Крамарьов, С. (2018). Значення азоту для рослин і особливості підживлення ім. *Пропозиція*, 4, 60–64.
- Кулик, М. І. (2018). Аналіз комплексного впливу агрозаходів на урожайність проса прутноподібного в умовах Центрального Лісостепу України. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*, 13, 74–85.
- Голодна, А. В., & Грицюк, Я. В. (2024). Фотосинтетична діяльність посіву сої за різних моделей технології вирощування. *Землеробство та рослинництво: теорія і практика*, 1(11), 57–65. DOI: <https://doi.org/10.54651/agri.2024.01.06>.
- Suchek, M., Kalenska, S., Knight, B., & Sonko, R. (2025). Photosynthetic activity of oat crops under combined application of mineral fertilisers and biological preparation. *Plant and Soil Science*, 16(4), 82–96. DOI: <https://doi.org/10.31548/plant4.2025.82>.
- Собко, М. Г., & Кулик, М. І. (2023). Закономірності зміни фотосинтетичних параметрів посівів проса прутноподібного залежно від агротехнічних заходів. *Cereals and Legumes Crops*, 1, 45–54. URL: <https://jna.bio.gov.ua/article/view/270474>.
- Стасик, О. О., Кірізій, Д. А., & Прядкіна, Г. О. (2021). Фотосинтез і продуктивність: основні наукові досягнення та інноваційні розробки. *Фізіологія рослин і генетика*, 53(2), 160–184. DOI: <https://doi.org/10.15407/frg.2021.02.160>.
- Wang, L., Wang, P., & Gu, Y. (2020). Improving grain yield and water use efficiency of proso millet (*Panicum miliaceum* L.) through appropriate ridge-furrow plastic mulching. *Field Crops Research*, 249, 107–115. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107775>.
- Habiyaremye, C., & Matanguihan, J. B. (2017). Proso Millet (*Panicum miliaceum* L.) and Its Potential for Cultivation in the Pacific Northwest, U.S.: A Review. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1961. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01961>.
- ДСТУ 4362: 2006. Якість ґрунту. Показники родючості ґрунтів. (2006). [Чинний від 2006-01-01]. Київ: Держспоживстандарт України.
- Єщенко, В. О., Копитко, П. Г., Опришко, В. П., & Костогрив, П. В. (2014). *Основи наукових досліджень в агрономії*. Вінниця: Едельвейс і К.

20. Рожков, А. О., Пузік, В. К., Каленська, С. М., & Криворученко, Р. В. (2016). *Дослідна справа в агрономії: навч. посіб.* Харків: Майдан.
21. Бахмат, О. М., & Черевична, Н. І. (2024). *Методичні рекомендації з екологічного випробування зернових та круп'яних культур в умовах змін клімату.* Кам'янець-Подільський: ЗВО «ПДАТУ».
22. Ткачик, С. О. (Ред.). (2016). *Методики проведення експертизи сортів рослин групи зернових, круп'яних та зернобобових на придатність до поширення в Україні.* Нілан-ЛТД.
23. Гамаюнова, В. В., & Шевель, В. І. (2021). Вплив біопрепаратів на фотосинтетичний потенціал та чисту продуктивність фотосинтезу проса в Північному Степу. *Таврійський науковий вісник*, 116, 110–118. URL: https://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/116.2020/part_2/9pdf.
24. Нікітенко, М. П. (2023). Вплив багатофункціональних комплексних препаратів на фотосинтетичний потенціал проса посівного (*Panicum miliaceum* L.). *Таврійський науковий вісник*, 134, 361–367. DOI: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.134.47>.
25. Любич, В. В. (2020). Вплив біологічних особливостей сортів проса на продуктивність в умовах Лісостепу. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*, 1, 44–51. DOI: <https://doi.org/10.31210/visnyk2020.01.05>.
26. Бобух, О. О., & Полторецький, С. П. (2020). Біологічні особливості цвітіння та запилення проса звичайного. *Вісник Уманського національного Університету садівництва*, 1, 18–22. DOI: <https://doi.org/10.36814/pgr.2020.26.04>.

Дата першого надходження рукопису до редакції: 10.02.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 02.03.2026
Дата публікації: 10.04.2026