

УДК 632: 633.16: 581.5

DOI: <https://doi.org/10.47414/nr.32.2024.324679>

Особливості формування фотосинтетичних показників посівів проса за органічного виробництва у Правобережному Лісостепу України

М. М. Федорченко,  Л. М. Карпук*

Білоцерківський національний аграрний університет, пл. Соборна, 8/1, м. Біла Церква, Київська обл., 09100, Україна, *e-mail: lesya_karpuk@ukr.net

Мета. Визначити ефективність застосування біопрепаратів у технології вирощування проса, зокрема їх впливу на фотосинтетичний потенціал, чисту продуктивність фотосинтезу та накопичення сухої речовини. **Методи.** Польові експерименти проводили впродовж 2022–2024 рр. на дослідній ділянці ПСП ім. Т. Г. Шевченка (Київська обл.). Досліджували сорти проса ‘Омріяне’ та ‘Біла Альтанка’, застосовуючи біопрепарати Біокомплекс-БТУ та Органік-Баланс у різних варіантах: обробка насіння, обприскування посівів на різних етапах вегетації та їх комплексне застосування. Оцінювали показники фотосинтетичної активності, площу асиміляційної поверхні та накопичення сухої речовини. **Результати.** Використання біопрепаратів сприяло підвищенню фотосинтетичного потенціалу та чистої продуктивності фотосинтезу. У фазі кущіння – викидання волоті фотосинтетичний потенціал сорту ‘Омріяне’ досягав $1,03 \text{ млн м}^2 \times \text{днів/га}$, а у фазі викидання волоті – дозрівання – $1,32 \text{ млн м}^2 \times \text{днів/га}$, що на 17,5 % перевищувало контрольні варіанти. Аналогічна тенденція спостерігалася у сорту ‘Біла Альтанка’. Чиста продуктивність фотосинтезу у фазі дозрівання підвищувалася до $7,64 \text{ г/м}^2$ на добу у сорту ‘Омріяне’, що також перевищувало контрольні показники. Біопрепарати сприяли збільшенню площі асиміляційної поверхні рослин на 15,0–17,2 %, що позитивно вплинуло на накопичення сухої речовини. У фазі дозрівання максимальний рівень накопичення сухої речовини становив 15,98 т/га у сорту ‘Омріяне’ та 14,63 т/га у сорту ‘Біла Альтанка’. **Висновки.** Застосування біологічних препаратів є ефективним засобом підвищення продуктивності проса, зокрема в умовах органічного землеробства. Біопрепарати позитивно впливають на фотосинтетичний апарат рослин, сприяють покращенню водного режиму, підвищують стійкість до стресових факторів і забезпечують стабільну врожайність культури. Отримані результати можуть бути використані для розробки ефективних агротехнологій вирощування проса з урахуванням особливостей органічного виробництва.

Ключові слова: просо; сорти; фотосинтетичний потенціал; чиста продуктивність фотосинтезу; біологічні препарати; органічне виробництво.

Вступ

Вибір стійких сортів також є ключовим аспектом адаптивних систем землеробства. Використання сортів проса, які демонструють високу стійкість до посухи, засоленості та інших стресових факторів, дозволяє фермерам отримувати стабільні врожаї в умовах змінного клімату. Крім того, підвищення родючості ґрунту шляхом застосування органічних добрив та покривних культур, таких як люпин або фацелія, може покращити якість ґрунту і підвищити його родючість, що позитивно впливає на вирощування проса. Фенологічні характеристики проса відіграють важливу роль у його адаптації до різних кліматичних умов. Глибоке розуміння цих процесів дозволяє розробляти ефективні технології вирощування проса і забезпечувати стабільні врожаї навіть у складних умовах [1, 2].

Високі врожаї сільськогосподарських культур з відповідними якісними показниками можна отримати у посівах з оптимальною площею листкової поверхні, оптимальним ходом її формування і структурою. Розвиток листкової поверхні та формування високого фотосинтетичного потенціалу листя в значній мірі залежить від обґрунтованості технологій вирощування, які забезпечують більш тривалу та продуктивну роботу листкової поверхні [3, 4].

Ряд науковців підкреслюють, що створення оптимальних умов для росту й розвитку рослин проса є критично важливим аспектом, який безпосередньо впливає на збільшення листової поверхні посівів проса посівного та його загальну продуктивність. Використання препаратів органічного походження для обробки насіння сприяє поліпшенню цих умов, що, в свою чергу, може призводити до підвищення ефективності вирощування цієї культури. Правильний підбір і застосування таких препаратів може істотно вплинути на результати агрономічних практик і забезпечити значний приріст урожайності культури [5–7].

Дослідження, проведені Камінським В. Ф., Нікітенком М. П., Присяжнюком О. І., Мусічем В. В. та іншими щодо фотосинтетичного потенціалу проса, є надзвичайно актуальними, оскільки розуміння механізмів фотосинтезу є ключем до підвищення продуктивності сільського господарства та розробки стійких агротехнологій [8–11].

За даними Нікітенка М. П. [8] використання біодобрив (БІО-ГЕЛЬ, ХЕЛАФІТ-Комбі, Гумікор, Гуміам-01) та багатофункціональних комплексних препаратів сприяло підвищенню фотосинтетичної активності проса. Це досягалося шляхом стимуляції фізіологічних процесів у рослинах, покращення живлення та водного режиму. В результаті спостерігалось збільшення врожайності культури.

Ремобілізація поживних речовин з листя до підземних органів багаторічних рослин є одним з ключових факторів, що зумовлюють сезонні зміни інтенсивності фотосинтезу. Цей процес дозволяє рослинам ефективно використовувати синтезовані органічні речовини, зменшуючи втрати поживних елементів через опадання листя [12–14].

Фаза цвітіння є критичною для проса, оскільки в цей період спостерігається максимальна площа асиміляційної поверхні завдяки інтенсивному росту листя. Збільшення розмірів та кількості листків сприяє підвищенню фотосинтетичної активності, що забезпечує рослину необхідними поживними речовинами для формування зерна. Однак, після цвітіння площа листя поступово зменшується, а рослина переорієнтовується на наповнення зерна. Глибоке розуміння цих фізіологічних процесів є ключовим для розробки ефективних технологій вирощування проса, включаючи оптимізацію посівів, агротехнічних прийомів за впровадження органічного виробництва [15–17].

За даними досліджень недостатня кількість світла під час наливу зерна призвела до зниження фотосинтетичної активності проса. Це виразилося в зменшенні маси зерна та погіршенні його якості. Причиною таких наслідків стало зниження вмісту хлорофілу, що ускладнило поглинання і перетворення світлової енергії рослинами [18–22].

Мета досліджень – виявити вплив біопрепаратів та способів їх застосування на формування фотосинтетичних показників сортів проса.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження виконувалися впродовж 2022–2024 рр. на дослідній ділянці ПСП ім. Т. Г. Шевченка (с. Тростинка, Обухівський р-н, Київська обл.).

Агрокліматичні умови вегетаційного періоду 2022–2024 рр. були не достатньо сприятливими для вирощування проса. Основними негативними чинниками були: дефіцит опадів у критичні періоди (травень – червень), підвищені температури в липні – серпні, а також нерівномірний розподіл вологи, що спричиняло стресові умови для росту й розвитку рослин проса. Найбільш несприятливим був 2022 рік через посуху на ранніх етапах розвитку й досить спекотне літо, що знизило запаси продуктивної вологи в ґрунті. 2023 рік виявився відносно сприятливим, оскільки достатня кількість опадів у червні – липні сприяла росту й розвитку рослин. У 2024 році погодні умови знову стали критичними, особливо через посушливий травень і серпень, що негативно позначилося на розвитку проса та наливу зерна.

Ґрунт дослідної ділянки представлений чорноземом типовим вилугуваним, середньої глибини, низької вологості, грубопилуватолегкосуглинковим на карбонатному лесі. За агрохімічними властивостями у ґрунті міститься 3,3 % органічної речовини, 90–120 мг/кг легкогідролізованого азоту.

У досліді передбачалося вивчення таких чинників:

Сорт проса	Біопрепарати	Спосіб застосування
‘Омріяне’	Без біопрепаратів Біокомплекс-БТУ Органік-баланс	Без обробки (контроль)
		Обробка насіння
		Обприскування рослин II, III, VIII ет. О.
		Комплекс (обробка насіння + обприскування рослин II, III, VIII ет. О.)
‘Біла Альтанка’	Без біопрепаратів Біокомплекс-БТУ Органік-баланс	Без обробки (контроль)
		Обробка насіння
		Обприскування рослин II, III, VIII ет. О.
		Комплекс (обробка насіння + обприскування рослин II, III, VIII ет. О.)

У досліді, площа елементарної ділянки в досліді становила 60 м², повторність – триразова. Розміщення ділянок – систематичне.

Для досліджень використовували сорти проса: ‘Омріяне’ (середньостиглий) та ‘Біла Альтанка’ (ультраскоростиглий).

Дослідження виконували згідно з методиками для проведення польового досліді та Методики державного сортовипробування сільськогосподарських культур [23].

Статистичний аналіз результатів експерименту проводили з використанням платформ Statistica 10 та Excel [24].

Результати досліджень

У результаті проведених досліджень виявлено, що умови живлення впливали на розподіл асимілятів, сприяючи їх більшому використанню для розвитку листкової поверхні у рослин проса (табл. 1).

Таблиця 1

Закономірності формування площі листкової поверхні проса, тис. м²/га (середнє за 2022–2024 рр.)

Спосіб застосування	Фаза розвитку		
	кущіння	викидання волоті	достигання
‘Біла Альтанка’			
Контроль (без обробки ДП)	19,30	46,20	15,70
Біокомплекс-БТУ (II, III, VIII ет. о.)	21,61	51,74	17,58
Органік-Баланс (II, III, VIII ет. о.)	21,59	51,69	17,56
Обробка насіння Біокомплекс-БТУ	22,27	53,31	18,11
Обробка насіння Органік-Баланс	22,19	53,13	18,05
Комплекс: Біокомплекс БТУ	22,61	54,14	18,40
Комплекс: Органік-Баланс	22,58	54,05	18,36
‘Омріяне’			
Контроль (без обробки ДП)	21,20	48,30	16,80
Біокомплекс-БТУ (II, III, VIII ет. о.)	23,85	54,33	18,90
Органік-Баланс (II, III, VIII ет. о.)	23,74	54,09	18,81
Обробка насіння Біокомплекс-БТУ	24,44	55,68	19,37
Обробка насіння Органік-Баланс	24,38	55,54	19,32
Комплекс: Біокомплекс-БТУ	24,84	56,60	19,68
Комплекс: Органік-Баланс	24,80	56,51	19,65
НІР _{0,05} : способи обробки сорта	0,2	0,4	0,3
	0,6	0,5	0,6

Аналіз динаміки росту листя проса показав, що максимальна площа асиміляційної поверхні досягається у фазу викидання волоті. Цей показник варіював від 46,20 до 56,60 тис. м²/га залежно від сортових особливостей та умов застосування допоміжних продуктів в органічному виробництві. У сорту 'Біла Альтанка' на початкових етапах формування рослин отримали 19,30–22,58 тис. м²/га. За умов обробки насіння препаратами Біокомплекс-БТУ отримали підвищення показника на 15,4 % порівняно з контрольними варіантами. За застосування Органік-Баланс для обробки насіння отримали аналогічні показники, де площа листя підвищувалась на 15,0 % порівняно з контролем і становила 22,19 тис. м²/га. Максимальні показники формування площі листової поверхні проса було відмічено у фазі викидання волоті, за застосування комплексного внесення Біокомплекс-БТУ – 54,14 тис. м²/га.

У сорту 'Омріяне' фіксували дещо вищі показники площі листя, порівняно з 'Біла Альтанка', що в середньому за фазами росту й розвитку становило на 2 тис. м²/га більше.

Максимальні показники площі листової поверхні проса сорту 'Омріяне' отримали за комплексного застосування Біокомплекс-БТУ та Органік-Баланс у фазі викидання волоті на рівні 56,51–56,60 тис. м²/га, що на 17,0–17,2 % вище, порівняно з контрольними варіантами.

Згідно з дослідженнями, однією із характерних ознак кінця вегетаційного періоду проса є значне зменшення площі листків. Листки поступово втрачають здатність до фотосинтезу, жовтіють й відмирають. Так, у сорту 'Омріяне' площа листової поверхні знижувалась до 16,80–19,68 тис. м²/га, а у сорту 'Біла Альтанка' – 15,70–18,36 тис. м²/га.

Процес фотосинтезу в рослинах проса забезпечує синтез органічних сполук, які спочатку накопичуються у вегетативних органах, зокрема в стеблах і листках. У другій половині вегетаційного періоду ці речовини активно транспортуються до зерна. Аналіз динаміки накопичення сухої речовини дозволяє оцінити ефективність фотосинтетичної діяльності та вплив різних агротехнічних заходів на цей процес. Особливу роль у цьому відіграє впровадження органічних технологій, оскільки застосування деяких елементів традиційного землеробства є обмеженим або неприйнятним у межах досліджуваних методів вирощування.

У перші періоди розвитку, а саме у фазі повних сходів, рослини проса накопичували мінімальну кількість сухої речовини. Цей процес був безпосередньо пов'язаний з умовами вирощування, зокрема з тим, наскільки швидко проростки могли отримати необхідні поживні речовини для подальшого росту й розвитку (табл. 2).

Починаючи з фази кущіння, накопичення сухої речовини у посівах проса варіювалося в межах 0,90–1,29 т/га залежно від способу застосування. Передпосівна обробка насіння біопрепаратами сприяла збільшенню рівня накопичення сухої речовини на 15,0–15,2 %, порівняно з контрольним варіантом з показником 1,03–1,26 т/га, тоді як на контролі цей показник становив 0,90–1,10 т/га залежно від сорту.

У фазі викидання волоті, у сорту 'Біла Альтанка', рівень накопичення сухої речовини склав 5,60–6,60 т/га. Застосування біопрепаратів у період вегетації (II, III, VIII етапи обробки) сприяло підвищенню цього показника до рівня 6,28 т/га. Передпосівна обробка насіння препаратами Біокомплекс-БТУ, Органік-Баланс забезпечила вищий рівень накопичення сухої речовини – 6,49 т/га. Найбільше значення накопичення сухої речовини зафіксовано у варіанті Комплекс: Біокомплекс-БТУ, що дозволило отримати 6,60 т/га, що на 1,00 т/га більше, ніж у контрольному варіанті (5,60 т/га).

Аналізуючи сорт проса 'Омріяне', варто зауважити, що у фазі викидання волоті, рівень накопичення сухої речовини варіював у межах 8,40–9,87 т/га. Максимальні значення, аналогічно до сорту 'Біла Альтанка', отримані за комплексного застосування біопрепаратів (Комплекс: Біокомплекс БТУ та Комплекс: Органік-Баланс), що забезпечило приріст у 17,5 %, порівняно з контрольними ділянками.

У період дозрівання проса, показники накопичення сухої речовини варіювали у межах 12,40–15,98 т/га залежно від сорту, особливостей технології вирощування та застосування біологічних препаратів. Максимальний рівень накопичення зафіксовано у сорту 'Омріяне', за комплексного застосування Біокомплекс-БТУ, де показник сягав 15,98 т/га, що є найвищим серед усіх варіантів досліді.

Особливості накопичення сухої речовини посівами проса, залежно від досліджуваних чинників, т/га (середнє за 2022–2024 рр.)

Отримані результати підтверджують, що фотосинтетична активність проса безпосередньо залежить від площі листової поверхні та тривалості міжфазних періодів. Чим довше листок залишається у функціональному стані, тим інтенсивніше проходять процеси фотосинтезу та накопичення сухої речовини. За оцінками дослідників, оптимальний фотосинтетичний потенціал проса становить не менше 2 млн м²/га за 100 днів вегетації, причому цей показник суттєво залежить від рівня живлення рослин [25].

У системі органічного землеробства одним з головних завдань є вирощування якісного врожаю без використання синтетичних добрив та заборонених препаратів. Водночас важливо підтримувати оптимальні водно-фізичні та агрохімічні характеристики ґрунту, а також забезпечувати високу біологічну активність мікроорганізмів. Зважаючи на це, застосування біологічних препаратів є ключовим елементом технології вирощування та сприяє підтриманню оптимального рівня фотосинтетичної продуктивності й, відповідно, високої врожайності культури.

За результатами досліджень, проведених у 2022–2024 рр., фотосинтетичний потенціал у фазі кушіння – викидання волоті коливався в межах 0,85–1,03 млн м² × днів/га (табл. 3). Найвищий показник фотосинтетичного потенціалу зафіксовано у сорту проса ‘Омріяне’ в період викидання волоті – досягання, який за комплексного застосування Біокомплекс-БТУ та Органік-Баланс становив 1,32 млн м² × днів/га.

У період інтенсивного росту та розвитку, зокрема у фазах викидання волоті та досягання, сорт проса 'Біла Альтанка' продемонстрував значний показник фотосинтетичного потенціалу. У контрольному варіанті, цей показник становив $0,95 \text{ млн м}^2 \times \text{днів/га}$. Застосування біологічних препаратів для обробки насіння сприяло істотному підвищенню фотосинтетичної активності, що дало змогу досягти $1,09 \text{ млн м}^2 \times \text{днів/га}$. Максимальні значення зафіксовано за комплексного застосування біологічних препаратів, що забезпечило зростання фотосинтетичного потенціалу до $1,11 \text{ млн м}^2 \times \text{днів/га}$.

Таблиця 3

**Фотосинтетичний потенціал посівів проса, млн м² × днів/га,
залежно від сорту та біопрепаратів (середнє за 2022–2024 рр.)**

Спосіб застосування	Фаза розвитку	
	кущіння – викидання волоті	викидання волоті – досягання
‘Біла Альтанка’		
Контроль (без обробки ДП)	0,85	0,95
Біокомплекс-БТУ (II, III, VIII ет. о.)	0,95	1,06
Органік-Баланс (II, III, VIII ет. о.)	0,95	1,06
Обробка насіння Біокомплекс-БТУ	0,98	1,09
Обробка насіння Органік-Баланс	0,97	1,09
Комплекс: Біокомплекс-БТУ	0,99	1,11
Комплекс: Органік-Баланс	0,99	1,11
‘Омріяне’		
Контроль (без обробки ДП)	0,88	1,13
Біокомплекс-БТУ (II, III, VIII ет. о.)	0,99	1,27
Органік-Баланс (II, III, VIII ет. о.)	0,98	1,26
Обробка насіння Біокомплекс-БТУ	1,01	1,30
Обробка насіння Органік-Баланс	1,01	1,30
Комплекс: Біокомплекс-БТУ	1,03	1,32
Комплекс: Органік-Баланс	1,03	1,32

Отримані результати підтверджують, що використання біопрепаратів сприяє активізації фотосинтетичного апарату рослин, стимулюючи їх ріст і розвиток, а також підвищуючи загальну продуктивність культури. Це пояснюється покращеним поглинанням елементів живлення та регуляцією фізіологічних процесів, що визначають ефективність використання енергії сонячного світла.

Одним із ключових чинників, що впливають на фотосинтетичну активність проса, є система живлення. Фотосинтетичний вуглеводний обмін відіграє важливу роль у формуванні врожайності та якості продукції. Рациональне використання азоту координує баланс між споживанням води та засвоєнням поживних речовин, підвищуючи ефективність використання вологи рослинами [26–28]. Особливо актуальним це є для органічного землеробства, де існують обмеження щодо застосування мінеральних добрив, що безпосередньо позначається на продуктивності культури та її якісних характеристиках [29].

Для оцінки ефективності фотосинтезу застосовують показник чистої продуктивності фотосинтезу (ЧПФ). Цей параметр дає змогу не лише визначити швидкість утворення органічних речовин на одиницю площі листової поверхні, але й враховує втрати органічної маси, пов'язані з диханням, природним відмиранням та опаданням листків упродовж усього вегетаційного періоду. Аналіз ЧПФ показав, що обидва досліджувані сорти позитивно реагували на обробку біологічними препаратами, проте сорт ‘Омріяне’ демонстрував вищі показники порівняно з ‘Біла Альтанка’, що свідчить про його ефективніше використання фотосинтетичного потенціалу.

У фазі кущіння – викидання волоті ЧПФ сорту ‘Омріяне’ варіював у межах 3,71–4,36 г/м² на добу, тоді як у сорту ‘Біла Альтанка’ цей показник становив 3,51–4,12 г/м² на добу. Внесення біологічних препаратів сприяло підвищенню ефективності фотосинтезу, що підтвердилося зростанням ЧПФ у дослідних варіантах (табл. 4). Зокрема, застосування Біокомплекс-БТУ (II, III, VIII етапи обробки) сприяло збільшенню значення чистої продуктивності фотосинтезу у сорту ‘Біла Альтанка’ до 3,94 г/м² на добу, що перевищувало контрольні показники. Передпосівна обробка насіння біопрепаратами також мала позитивний ефект, забезпечуючи підвищення показника до рівня 4,03–4,05 г/м² на добу у сорту ‘Біла Альтанка’ та до 4,28 г/м² на добу у сорту ‘Омріяне’.

Таблиця 4

**Чиста продуктивність фотосинтезу посівів проса, г/м² на добу
(середнє за 2022–2024 рр.)**

Спосіб застосування	Фаза розвитку	
	кущіння – викидання волоті	викидання волоті – досягання
‘Біла Альтанка’		
Контроль (без обробки ДП)	3,51	6,06
Біокомплекс-БТУ (II, III, VIII ет. о.)	3,94	6,80
Органік-Баланс (II, III, VIII ет. о.)	3,93	6,78
Обробка насіння Біокомплекс-БТУ	4,05	7,00
Обробка насіння Органік-Баланс	4,03	6,96
Комплекс: Біокомплекс-БТУ	4,12	7,12
Комплекс: Органік-Баланс	4,10	7,09
‘Омріяне’		
Контроль (без обробки ДП)	3,71	6,52
Біокомплекс-БТУ (II, III, VIII ет. о.)	4,17	7,34
Органік-Баланс (II, III, VIII ет. о.)	4,15	7,30
Обробка насіння Біокомплекс-БТУ	4,28	7,53
Обробка насіння Органік-Баланс	4,27	7,51
Комплекс: Біокомплекс-БТУ	4,34	7,64
Комплекс: Органік-Баланс	4,36	7,66

У фазі викидання волоті – дозрівання спостерігалось подальше зростання значення ЧПФ у дослідних варіантах. Зокрема, у сорту ‘Біла Альтанка’ показник ЧПФ знаходився у межах 6,06–7,12 г/м² на добу, а у сорту ‘Омріяне’ – 6,52–7,64 г/м² на добу. Максимальні значення ЧПФ зафіксовано у варіантах із комплексним застосуванням біопрепарату Біокомплекс-БТУ, що забезпечило підвищення показника до 7,12 г/м² на добу у сорту ‘Біла Альтанка’ та 7,64 г/м² на добу у сорту ‘Омріяне’.

Загалом, використання біопрепаратів сприяло підвищенню ЧПФ на 17,2–17,5 %, порівняно з контрольними варіантами. Це підтверджує їхню ефективність у стимулюванні фотосинтетичної активності рослин та покращенні продуктивності культури, що є важливим чинником для підвищення врожайності та адаптації посівів до умов органічного землеробства.

Висновки

Вибір стійких сортів проса є ключовим чинником адаптивних систем землеробства, що дозволяє забезпечувати стабільні врожаї в умовах змінного клімату. Використання біологічних препаратів, зокрема Біокомплекс-БТУ та Органік-Баланс, позитивно впливає на фотосинтетичну активність проса, підвищуючи фотосинтетичний потенціал і чисту продуктивність фотосинтезу. Найвищі значення цих показників досягнуто при комплексному застосуванні біопрепаратів, що сприяло збільшенню асиміляційної поверхні листків на 15,0–17,2 % порівняно з контролем. Оптимальний розвиток листової поверхні забезпечує більш ефективне використання сонячної енергії, що позитивно позначається на накопиченні сухої речовини.

У фазі дозрівання проса найвищий рівень накопичення сухої речовини спостерігався при комплексній обробці Біокомплекс-БТУ – 15,98 т/га у сорту ‘Омріяне’ та 14,63 т/га у сорту ‘Біла Альтанка’, що перевищувало контрольні варіанти на 17,5 %. Вплив біопрепаратів також сприяв підвищенню чистої продуктивності фотосинтезу, що дозволило досягти максимальних значень у фазі досягання – 7,64 г/м² на добу у сорту ‘Омріяне’. Зниження освітлення в період наливу зерна негативно позначалося на фотосинтетичній активності, що проявлялося у зменшенні вмісту хлорофілу та погіршенні показників урожайності.

Використана література

1. Аверчев О. В., Нікітенко М. П. Агроекологічне обґрунтування адаптивних технологій вирощування проса в глобальних умовах змін клімату. *Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики для аграрної науки та освіти*: збірник матеріалів VII Міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, 27 березня 2024 р.). Київ, 2024. С. 154–157.
2. Аверчев О. В., Нікітенко М. П. Біологічні особливості проса як фактори його адаптації до зміни клімату. *Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології агропромислового виробництва»* (м. Кропивницький, 14–15 листопада 2024 р.). Кропивницький : ЦНТУ, 2024. С. 87–89.
3. Каленська С. М., Черній В. П. Продуктивність посівів проса залежно від елементів біологізації технології вирощування. *Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2017. № 2. URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/8456/7922>
4. Черній В. П. Урожайність проса за умов біологізації його вирощування у Правобережному Лісостепу України. *Вісник Житомирського агроекологічного університету*. 2015. № 2, Т. 1. С. 458–464.
5. Степанченко В. Фотосинтетична діяльність сортів проса. *Аграрна наука та освіта в умовах євроінтеграції*: збірник наукових праць Міжнародної науково-практичної конференції (20–21 березня 2019 р., м. Кам'янець-Подільський). Тернопіль : Крок, 2019. Ч. 1. С. 156–158.
6. Любич О. Г. Особливості сівби проса в Поліссі та Лісостепу в умовах весни 2020 р. URL: <https://zemlerobstvo.com/news/osoblivosti-sivbi-prosa-v-polissi-ta-lisostepu-v-umovah-vesni-2020-r>
7. Василенко Р. М. Вплив способів сівби та норм висіву на продуктивність італійського проса (*Setaria italica* Махм) в умовах півдня України. *Таврійський науковий вісник*. 2011. № 76. С. 45–49.
8. Нікітенко М. П. Вплив багатофункціональних комплексних препаратів на фотосинтетичний потенціал проса посівного (*Panicum miliaceum* L.). *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2023. Вип. 134. С. 361–367.
9. Камінський В. Ф., Глієва О. В. Площа листового апарату та фотосинтетична продуктивність посівів проса за різних рівнів мінерального живлення. *Збірник наукових праць ННЦ «Інститут землеробства НААН»*. 2014. Вип. 3. С. 79–84.
10. Мусіч В. В., Присяжнюк О. І. Закономірності зміни фотосинтетичних параметрів посівів проса прутіподібного за вирощування на маргінальних ґрунтах Правобережного Лісостепу України. *Новітні агротехнології*. 2022. Т. 10, № 2. doi: 10.47414/na.10.2.2022.270474
11. Taylor S. H., Lowry D. B., Aspinwall M. J. et al. QTL and drought effects on leaf physiology in lowland *Panicum virgatum*. *BioEnergy Research*. 2016. Vol. 9, Iss. 4. P. 1241–1259. doi: 10.1007/s12155-016-9768-5
12. Massey J., Antonangelo J., Zhang H. Nutrient dynamics in switchgrass as a function of time. *Agronomy*. 2020. Vol. 10, Iss. 7. Article 940. doi: 10.3390/AGRONOMY1007094027
13. Yang J., Preiser A. L., Li Z. et al. Triose phosphate use limitation of photosynthesis: short-term and long-term effects. *Planta*. 2016. Vol. 243, Iss. 3. P. 687–698. doi: 10.1007/s00425-015-2436-828
14. Yang J., Udvardi M. Senescence and nitrogen use efficiency in perennialgrasses for forage and biofuel production. *Journal of Experimental Botany*. 2018. Vol. 69, Iss. 4. P. 855–865. doi: 10.1093/JXB/ERX241
15. Feng Y., Yang D., Zhao F. et al. Comprehensive Evaluation of Photosynthetic Performance of Foxtail Millet Varieties and Screening of High Photosynthetic Efficiency Varieties. *Journal of Henan Agricultural Sciences*. 2024. Vol. 53, Iss. 5. P. 40–48. doi: 10.15933/j.cnki.1004-3268.2024.05.005
16. Lu H. B., Qiao Y. M., Gong X. C. et al. Influence of drought stress on the photosynthetic characteristics and dry matter accumulation of hybrid millet. *Photosynthetica*. 2015. Vol. 53, Iss. 2. P. 306–311. doi: 10.1007/s11099-015-0120-7
17. Pavithra K. S., Senthil A., Babu Rajendra Prasad V. et al. Variations in photosynthesis associated traits and grain yield of minor millets. *Plant Physiology Reports*. 2020. Vol. 25, Iss. 3. P. 418–425. doi: 10.1007/s40502-020-00525-5
18. Bhatt D., Negi M., Sharma P. et al. Responses to drought induced oxidative stress in five

- finger millet varieties differing in their geographical distribution. *Physiology and Molecular Biology of Plants*. 2011. Vol. 17, Iss. 4. Article 347. doi: 10.1007/s12298-011-0084-4
19. Flood P. J., Harbinson J., Aarts M. G. Natural genetic variation in plant photosynthesis. *Trends in Plant Science*. 2011. Vol. 16, Iss. 6. P. 327–335. doi: 10.1016/j.tplants.2011.02.005
20. Padulosi S., Mal B., King O., Gotor E. Minor millets as a central element for sustainably enhanced incomes, empowerment, and nutrition in rural India. *Sustainability*. 2015. Vol. 7, Iss. 7. P. 8904–8933. doi: 10.3390/su7078904
21. Zhang L. G., Huang L., Huang L. et al. Photosynthetic and physiological responses of foxtail millet (*Setaria italica* L.) to low-light stress during grain-filling stage. *Photosynthetica*. 2017. Vol. 55. P. 491–500. doi: 10.1007/s11099-016-0645-4
22. Hao X. Y., Li P., Li H. Y. et al. Elevated CO₂ increased photosynthesis and yield without decreasing stomatal conductance in broomcorn millet. *Photosynthetica*. 2017. Vol. 55, Iss. 1. P. 176–183. doi: 10.1007/s11099-016-0226-6
23. Методика державного сортовипробування сільськогосподарських культур. Київ, 2004. Вип. 3. 78 с.
24. 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.
25. Zhang Ya-qi, LI Shu-wen, FU Wei, WEN Hong-da. Effects of nitrogen application on yield, photosynthetic characteristics and water use efficiency of hybrid millet. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*. 2014. Vol. 20, Iss. 5. P. 1119–1126. doi: 10.11674/zwyf.2014.0508
26. Yang J., Zhao H., Zhang T. Diurnal patterns of net photosynthetic rate, stomatal conductance, and chlorophyll fluorescence in leaves of field-grown mungbean (*Phaseolus radiatus*) and millet (*Setaria italica*). *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*. 2004. Vol. 32, Iss. 3. P. 273–279. doi: 10.1080/01140671.2004.9514306
27. Sun C. Q., Guo Z. L., Qu F. et al. The influence of different fertilization conditions on chlorophyll content of hybrid millet. *Crops*. 2014. Vol. 3. P. 72–76. doi: 10.16035/j.issn.1001-7283.2014.03.019
28. Reddy Y. A. Nanja. Studies on photosynthetic rate, anatomical characters, and grain yield in finger millet genotypes. *Current Journal of Applied Science and Technology*. 2020. Vol. 39, Iss. 23. P. 31–39. doi: 10.9734/cjast/2020/v39i2330854
29. Choudhury N., Ajay, Choudhury M. S. A. Millets in organic agricultural system. *Millets and other potential crops: Ensuring climate resilience and nutritional security*. London : CRC Press, 2024. P. 69–90. doi: 10.1201/9781003531937-6
- ### References
1. Averchev, O. V., & Nikitenko, M. P. (2024). Agroecological justification of adaptive millet cultivation technologies under global climate change conditions. In *Climate Change and Agriculture. Challenges for Agrarian Science and Education: Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference* (pp. 154–157). Kyiv. [In Ukrainian]
 2. Averchev, O. V., & Nikitenko, M. P. (2024). Biological characteristics of millet as factors of its adaptation to climate change. In *Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference "Modern Technologies of Agro-Industrial Production"* (pp. 87–89). Kropyvnytskyi: CNTU. [In Ukrainian]
 3. Kalenska, S. M., & Chernii, V. P. (2017). Productivity of millet crops depending on elements of biologization of cultivation technology. *Scientific Reports of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*, 2. Retrieved from <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/8456/7922>
 4. Chernii, V. P. (2015). Millet yield under biologization of its cultivation in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Bulletin of Zhytomyr Agroecological University*, 2(1), 458–464. [In Ukrainian]
 5. Stepanchenko, V. (2019). Photosynthetic activity of millet varieties. In *Agrarian Science and Education in the Conditions of European Integration: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference* (Vol. 1, pp. 156–158). Ternopil: Krok. [In Ukrainian]

6. Liubchych, O. H. (2020). Features of millet sowing in Polissia and Forest-Steppe under the conditions of spring 2020. Retrieved from <https://zemlerobstvo.com/news/osoblivosti-sivbi-prosa-v-polissi-ta-lisostepu-v-umovah-vesni-2020-r/> [In Ukrainian]
7. Vasylenko, R. M. (2011). Effect of sowing methods and seeding rates on the productivity of Italian millet (*Setaria italica* Maxma) in the south of Ukraine. *Taurian Scientific Herald*, 76, 45–49. [In Ukrainian]
8. Nikitenko, M. P. (2023). Influence of multifunctional complex preparations on the photosynthetic potential of common millet (*Panicum miliaceum* L.). *Taurian Scientific Herald. Series: Agricultural Sciences*, 134, 361–367. [In Ukrainian]
9. Kaminskyi, V. F., & Hlieieva, O. V. (2014). Leaf area and photosynthetic productivity of millet crops under different levels of mineral nutrition. *Collection of Scientific Papers of the National Scientific Center "Institute of Agriculture NAAS"*, 3, 79–84. [In Ukrainian]
10. Musich, V. V., & Prysiashniuk, O. I. (2022). Patterns of changes in photosynthetic parameters of switchgrass grown on marginal lands of the Right Bank Forest Steppe of Ukraine. *Advanced Agritechnologies*, 10(2). doi: 10.47414/na.10.2.2022.270474 [In Ukrainian]
11. Taylor, S. H., Lowry, D. B., Aspinwall, M. J., Bonnette, J. E., Fay, P. A., & Juenger, T. E. (2016). QTL and drought effects on leaf physiology in lowland *Panicum virgatum*. *BioEnergy Research*, 9(4), 1241–1259. doi: 10.1007/s12155-016-9768-5
12. Massey, J., Antonangelo, J., & Zhang, H. (2020). Nutrient dynamics in switchgrass as a function of time. *Agronomy*, 10(7), Article 940. doi: 10.3390/AGRONOMY1007094027
13. Yang, J. T., Preiser, A. L., Li, Z., Weise, S. E., & Sharkey, T. D. (2016). Triose phosphate use limitation of photosynthesis: short-term and long-term effects. *Planta*, 243(3), 687–698. doi: 10.1007/s00425-015-2436-8
14. Yang, J., & Udvardi, M. (2018). Senescence and nitrogen use efficiency in perennial grasses for forage and biofuel production. *Journal of Experimental Botany*, 69(4), 855–865. doi: 10.1093/JXB/ERX241
15. Feng, Y., Yang, D., & Zhao, F. (2024). Comprehensive evaluation of photosynthetic performance of foxtail millet varieties and screening of high photosynthetic efficiency varieties. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 53(5), 40–48. doi: 10.15933/j.cnki.1004-3268.2024.05.005
16. Lu, H. B., Qiao, Y. M., Gong, X. C., Li, H. Q., Zhang, Q., Zhao, Z. H., & Meng, L. L. (2015). Influence of drought stress on the photosynthetic characteristics and dry matter accumulation of hybrid millet. *Photosynthetica*, 53(2), 306–311. doi: 10.1007/s11099-015-0120-7
17. Pavithra, K. S., Senthil, A., Babu Rajendra Prasad, V., Ravikesavan, R., & Djanaguiraman, M. (2020). Variations in photosynthesis associated traits and grain yield of minor millets. *Plant Physiology Reports*, 25(3), 418–425. doi: 10.1007/s40502-020-00525-5
18. Bhatt, D., Negi, M., Sharma, P., Saxena, S. C., Dobriyal, A. K., & Arora, S. (2011). Responses to drought induced oxidative stress in five finger millet varieties differing in their geographical distribution. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 17(4), Article 347. doi: 10.1007/s12298-011-0084-4
19. Flood, P. J., Harbinson, J., & Aarts, M. G. (2011). Natural genetic variation in plant photosynthesis. *Trends in Plant Science*, 16(6), 327–335. doi: 10.1016/j.tplants.2011.02.005
20. Padulosi, S., Mal, B., King, O., & Gotor, E. (2015). Minor millets as a central element for sustainably enhanced incomes, empowerment, and nutrition in rural India. *Sustainability*, 7(7), 8904–8933. doi: 10.3390/su7078904
21. Yuan, X. Y., Zhang, L. G., Huang, L., Qi, X., Wen, Y. Y., Dong, S. Q., ... Guo, P. Y. (2017). Photosynthetic and physiological responses of foxtail millet (*Setaria italica* L.) to low-light stress during grain-filling stage. *Photosynthetica*, 55, 491–500. doi: 10.1007/s11099-016-0645-4
22. Hao, X. Y., Li, P., Li, H. Y., Zong, Y. Z., Zhang, B., Zhao, J. Z., & Han, Y. H. (2017). Elevated CO₂ increased photosynthesis and yield without decreasing stomatal conductance in broomcorn millet. *Photosynthetica*, 55(1), 176–183. doi: 10.1007/s11099-016-0226-6
23. Ministry of Agrarian Policy of Ukraine. (2004). *Methodology of state variety testing of agricultural crops* (Vol. 3). Kyiv.
24. Prysiashniuk, O. I., Karazhbei, H. M., Leshchuk, N. V., Tsyba, S. V., Mazhuga, K. M., Brovkin, V. V., ... Maslechkin, V. V. (2016). *Statistical analysis of agronomic research data in the Statistica 10 package: Methodical guidelines*. Nilan-LTD. [In Ukrainian]

25. Zhang, Y.-q., Li, S.-w., Fu, W., & Wen, H.-d. (2014). Effects of nitrogen application on yield, photosynthetic characteristics and water use efficiency of hybrid millet. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 20(5), 1119–1126. doi: 10.11674/zwf.2014.0508
26. Yang, J., Zhao, H., & Zhang, T. (2004). Diurnal patterns of net photosynthetic rate, stomatal conductance, and chlorophyll fluorescence in leaves of field-grown mungbean (*Phaseolus radiatus*) and millet (*Setaria italica*). *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 32(3), 273–279. doi: 10.1080/01140671.2004.9514306
27. Sun, C. Q., Guo, Z. L., & Qu, F. (2014). The influence of different fertilization conditions on chlorophyll content of hybrid millet. *Crops*, 3, 72–76. doi: 10.16035/j.issn.1001-7283.2014.03.019
28. Reddy, Y. A. N. (2020). Studies on photosynthetic rate, anatomical characters, and grain yield in finger millet genotypes. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 39(23), 31–39. doi: 10.9734/cjast/2020/v39i2330854
29. Choudhury, N., Ajay, & Choudhury, M. S. A. (2024). Millets in organic agricultural system. In *Millets and other potential crops: Ensuring climate resilience and nutritional security* (pp. 69–90). London: CRC Press. doi: 10.1201/9781003531937-6

UDC 632: 633.16: 581.5

Fedorchenko, M. M., & Karpuk, L. M.* (2024). Peculiarities of the formation of photosynthetic indicators in proso millet under organic production in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 32, 63–73. [In Ukrainian]

*Bila Tserkva National Agrarian University, 8/1 Soborna Square, Bila Tserkva, Kyiv region, 09100, Ukraine, *e-mail: lesya_karpuk@ukr.net*

Purpose. The aim of the study was to determine the effectiveness of using biopreparations in proso millet cultivation technology, particularly their influence on photosynthetic potential, net photosynthetic productivity, and dry matter accumulation. **Methods.** Field experiments were conducted in 2022–2024 at the experimental site of private agricultural enterprise named after T. Shevchenko (Kyiv region). The study examined proso millet varieties ‘Omriiane’ and ‘Bila Altanka’, applying the biopreparations Biocomplex-BTU and Organic-Balance in different treatments: seed treatment, foliar application at various growth stages, and the combined use of the preparations. The parameters of photosynthetic activity, assimilation area, and dry matter accumulation were evaluated. **Results.** The results showed that the use of biopreparations contributed to an increase in photosynthetic potential and net photosynthetic productivity. In the tillering–panicle emergence phase, the photosynthetic potential of the ‘Omriiane’ variety reached 1.03 million m² × days/ha, while in the panicle emergence–ripening phase, it increased to 1.32 million m² × days/ha, which was 17.5% higher than in the control variants. A similar trend was observed in the ‘Bila Altanka’ variety. Net photosynthetic productivity in the ripening phase increased to 7.64 g/m² per day for ‘Omriiane’, also exceeding the control values. Biopreparations contributed to a 15.0–17.2% increase in the plant assimilation area, positively affecting dry matter accumulation. In the ripening phase, the maximum dry matter accumulation was recorded at 15.98 t/ha for ‘Omriiane’ and 14.63 t/ha for ‘Bila Altanka’. **Conclusions.** The conclusions indicate that the application of biological preparations is an effective method for increasing proso millet productivity, particularly under organic farming conditions. Biopreparations positively influence the photosynthetic apparatus of plants, improve water balance, enhance resistance to stress factors, and ensure stable crop yields. The obtained results can be used to develop effective proso millet cultivation technologies, considering the specifics of organic production.

Keywords: proso millet; varieties; photosynthetic potential; net photosynthetic productivity; biological preparations; organic production.

Надійшла / Received 05.11.2024

Погоджено до друку / Accepted 25.11.2024