

Оригінальна наукова стаття

УДК 581.132.1:631.89:633.11

**РОЗВИТОК ФОТОСИНТЕТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ
ТА ЗЕРНОВА ПРОДУКТИВНІСТЬ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ
ЗА БІОЛОГІЗОВАНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ****О. Л. Дубицький, А. О. Дубицька, О. Й. Качмар, О. В. Вавринович, М. М. Щерба**

Інститут сільського господарства
Карпатського регіону НААН
вул. Грушевського, 5, с.Оброшине,
Львівський р-н, Львівська обл.,
81115

Про авторів:

Олександр ДУБИЦЬКИЙ,
кандидат біологічних наук
ORCID: 0000-0002-8293-4119

Ангеліна ДУБИЦЬКА,
кандидат сільськогосподарських
наук
ORCID: 0000-0002-5685-0237

Оксана КАЧМАР,
кандидат сільськогосподарських
наук
ORCID: 0000-0002-0382-6030

Оксана ВАВРИНОВИЧ,
кандидат сільськогосподарських
наук
ORCID: 0000-0003-3466-1432

Марія ЩЕРБА,
науковий співробітник
ORCID: 0000-0002-0773-6382

Для листування:

Оксана КАЧМАР
e-mail: oksanaostrowska@ukr.net

Інформація про фінансування:

Національна академія аграрних
наук України

Отримано:

2 серпня 2023 р.

Погоджено до друку:

21 серпня 2023 р.

В умовах польового дослідження вивчали вплив біологізованих систем удобрення на вміст хлорофілів ($a + b$) у верхніх листках, чисту продуктивність фотосинтезу (ЧПФ) посіву та зернову продуктивність пшениці озимої.

Встановлено, що внесення мінеральних добрив у дозі $N_{90}P_{60}K_{60}$ на фоні соломи гороху з додаванням біостимулятора (БС) та гумусного або хелатного добрив (відповідно ГД або ХД) забезпечило в фазі цвітіння зростання сумарного вмісту хлорофілів ($a + b$) на 26–28 % щодо цього показника в контрольному варіанті. У фазі молочно-воскової стиглості вміст хлорофілів ($a + b$) знижувався на 18–22 % щодо фази цвітіння. Найбільший серед таких декрементів мав місце у варіанті внесення мінеральних добрив у дозі $N_{150}P_{120}K_{120}$ на фоні соломи + ГД. Біологізовані системи удобрення викликали підвищення величин ЧПФ. Зокрема за умов зазначених систем удобрення протягом періоду від цвітіння до молочно-воскової стиглості цей показник був на 10–11 % вищим порівняно з контрольним варіантом.

Максимальні значення продуктивності фотосинтезу (8,08–8,12 г/(м² • добу)) мали місце у варіантах, де вивчали дію мінеральних добрив у дозі $N_{90}P_{60}K_{60}$ на фоні соломи гороху з додаванням ГД або ХД. Біологізовані системи удобрення зумовлювали формування потужнішого фотосинтетичного апарату верхніх листків пшениці озимої порівняно з контролем, що своєю чергою стимулювало “попит” на асиміляти з боку колосу. Зазначені коригування донорно-акцепторних відносин у системі верхні листки – решта частини рослини сприяли підвищенню зернової продуктивності пшениці озимої, зокрема збільшенню кількості зерен у колосі та маси 1000 зерен.

Таким чином, біологізовані системи удобрення викликали підвищення активності й тривалості функціонування фотосинтетичного апарату листків в онтогенезі пшениці озимої, що значною мірою сприяло зростанню зернової продуктивності цієї культури. Найефективніший вплив на проаналізовані показники фотосинтетичного апарату та врожаю серед вивчених мали системи удобрення з таким складом: солома гороху + $N_{90}P_{60}K_{60}$ + БС + ГД або обробка посівів ХД на фоні соломи гороху + $N_{90}P_{60}K_{60}$.

Ключові слова: біологізовані системи удобрення, пшениця озима, вміст хлорофілів ($a + b$), чиста продуктивність фотосинтезу, зернова продуктивність.

Стаття з відкритим доступом на умовах ліцензії Creative Commons.

Development of photosynthetic processes and grain productivity of winter wheat under biological fertilization systems

Institute of Agriculture of
Carpathian Region of NAAS
Hrushevskoho street, 5, Obroshyne
village, Lviv district, Lviv region,
81115

About authors:

Alexander DUBYTSKYI
ORCID: 0000-0002-8293-4119

Anhelina DUBYTSKA
ORCID: 0000-0002-5685-0237

Oksana KACHMAR
ORCID: 0000-0002-0382-6030

Oksana VAVRYNOVYCH
ORCID: 0000-0003-3466-1432

Mariia SHCHERBA
ORCID: 0000-0002-0773-6382

For corresponding:
Oksana KACHMAR
e-mail: oksanaostrowska@ukr.net

Funding information:
National Academy of Agrarian
Sciences of Ukraine

Received:
August 2, 2023
Accepted:
August 21, 2023

In a field experiment, the effect of biological fertilization systems on the content of chlorophylls ($a + b$) in the upper leaves, net photosynthetic productivity ('NPP') of the crop and grain productivity of winter wheat was studied.

It has been established, that the application of mineral fertilizers at a rate of $N_{90}P_{60}K_{60}$ on the background of pea straw with the addition of a biostimulant (BS) plus humus or chelate fertilizers (HF or CF, respectively) ensured an increase in the total chlorophylls content ($a + b$) during the flowering phase, relative to the value of this indicator in control variant. In the stage of milky-wax ripeness, the contents of chlorophylls ($a + b$) decreased by 18–22 %, compared to the flowering phase. The largest among such decrements took place in the variant of application of mineral fertilizers at a rate of $N_{150}P_{120}K_{120}$ on the background of straw + HF.

Biologized fertilizer systems have caused an increase in NPP values. In particular, under the conditions of these fertilizer systems, during the period from flowering to milky-wax ripeness, the level of this indicator was 10–11 % higher, compared to the control variant. The maximum values of the productivity of photosynthesis (8,08–8,12 g/(m² • day)) occurred in the variants, where the effects of mineral fertilizers at a rate of $N_{90}P_{60}K_{60}$ was studied on the background of pea straw with the addition of HF or CF. Biologized fertilizer systems caused the formation of a more powerful photosynthetic apparatus of the upper leaves of winter wheat, compared with the control, which in turn stimulated the “demand” for assimilates from the ear. These adjustments of sink-source relations in the system upper leaves – the rest of the plant contributed to an increase in the grain productivity of winter wheat, in particular, an increase in the number of grains per ear and the weight of 1000 grains.

Thus, biological fertilization systems caused an increase in the activity and duration of the functioning of the photosynthetic apparatus of leaves in the ontogeny of winter wheat. To a large extent, this contributed to the gain of grain productivity of winter wheat. The most effective influence on the analyzed indicators of the photosynthetic apparatus and yield among the studied ones was exerted by fertilizer systems with the following composition: pea straw + $N_{90}P_{60}K_{60}$ + BS + HF or treatment of crops with CF on the background of pea straw + $N_{90}P_{60}K_{60}$.

Keywords: biological fertilization systems, winter wheat, chlorophyll contents ($a + b$), net photosynthesis productivity, grain productivity.

This is an open-access article under the terms of the Creative Commons.

Вступ. Виробництво зерна в Україні – стратегічна і найефективніша галузь народного господарства, оскільки воно є основою продовольчої бази і безпеки держави. На стан зерновиробництва в останні роки істотно вплинули зміни природно-кліматичних умов та недостатнє

матеріально-технічне забезпечення. Тому виникла потреба розробки нових підходів щодо виробництва зерна як на основі ресурсощадних технологій, так і раціонального використання зональних природно-кліматичних умов [13, 14, 19, 20]. Сьогодні на перший план виходять

дослідження, присвячені пошуку альтернативних, біологізованих засобів підвищення продуктивності рослин, які базуються на активації їхніх природних метаболічних процесів [5, 12].

До таких засобів слід віднести використання соломи зернових або зернобобових культур, заорювання сидератів, використання стимуляторів росту рослин, гумусних чи мікробіологічних або хелатних добрив [1–3, 7, 9]. Системи удобрення в першу чергу впливають на формування врожаю, який значною мірою залежить від процесів фотосинтезу [26, 30]. І хоча зв'язок його з продуктивністю не завжди однозначний, для зернових колосових культур є дані, які підтверджують, що за період вегетації фотосинтетичні процеси та листові і хлорофільні індекси знаходяться в тісному кореляційному зв'язку з біологічним і господарсько цінним урожаєм [8, 10, 11].

Функціонально фотосинтез здійснюється в листках рослин, оскільки це основний орган, який забезпечує умови проходження цього процесу, а саме в спеціалізованих органелах – хлоропластах, які складають 25–30 % маси листка. Хлоропласти вищих рослин містять хлорофіли *a* і *b*, їх кількісний вміст залежить від генетичної природи організму та умов його вирощування, зокрема забезпеченості рослин елементами живлення [17, 18, 20].

Сучасний стан досліджень проблеми фотосинтезу дає підставу вважати, що фотосинтетична діяльність сільськогосподарських культур є основою їх продуктивності й значною мірою залежить від вмісту пігментів у рослинах [16, 24, 27].

Особливе значення мають зелені пігменти, хлорофіли *a* + *b* – чутливі індикатори фізіологічного стану рослин. Кількість і функціональна активність цих пігментів є показником потенційної здатності рослин формувати біологічний урожай [21, 23].

Для досягнення стабільно високого і якісного врожаю сільськогосподарських культур потрібно максимально зберегти фотосинтетичну активність листків у період

наливу зерна і сприяти швидкому старінню в кінці вегетації. Цей процес є генетично детермінованим і регулюється рядом фітогормонів, сигнальними системами. Фотосинтез тісно пов'язаний з вмістом хлорофілів у листках рослин і в свою чергу залежить від забезпеченості їх елементами живлення [22, 24, 31].

Одним із шляхів досягнення ефекту поліпшення фотосинтезу та продуктивності сільськогосподарських культур може бути розробка інноваційних технологій їх вирощування. Важливу роль у цьому відведено новим препаратам, бактеріальним добривам, рістстимулюючим комплексам, гумусним та хелатним добривам, які в поєднанні з оптимальними дозами мінеральних добрив на фоні соломи бобових або зернових культур зможуть формувати біологізовані, екологічно безпечні системи удобрення [9, 15, 25, 28, 29]. Такі системи удобрення здатні підвищити стійкість рослин до хвороб, несприятливих умов зовнішнього середовища, продовжити тривалість їх життя, здатні ініціювати низку метаболічних процесів, сприяти мобілізації резервів потенціалу продуктивності [32–34].

Відомо, що за використання мінеральних добрив під пшеницю озиму сорту Фаворитка в дозах $N_{80}P_{32}K_{32}$ або $N_{300}P_{160}K_{160}$ сума хлорофілів (*a* + *b*) була відповідно 2,01 та 2,86 мг/г, що вказує на формування більш активного фотосинтетичного апарату за вищої дози мінеральних добрив та збільшення маси 1000 зерен на 5–6 % [6].

Внаслідок обробки рослин пшениці озимої згаданого вище сорту хелатованим мікродобривом і стимулятором росту (аватар і енерген) чиста продуктивність фотосинтезу (ЧПФ) становила після мікродобрива – 10,8 г/м², а після стимулятора – 8,5 г/м² (контроль – 5,6 г/м²), відзначено підвищення продуктивності культури в діапазоні 707–802 г/м².

Однак у літературі трапляється небагато повідомлень щодо впливу біологізованих систем удобрення на фотосинтетичні процеси та вони є фрагментарними за їх значенням у

формуванні врожаю сільськогосподарських культур.

Мета роботи – вивчення впливу біологізованих систем удобрення на розвиток фотосинтетичних процесів у листках пшениці озимої та її продуктивність.

Матеріали і методи. Дослідження проводили в 2021–2022 рр. у полі пшениці озимої (*Triticum aestivum* L.) сорту Бенефіс, висіяної після гороху, в умовах стаціонарного досліду з вивчення наукових основ управління продуктивністю короткоротаційних сівозмін в умовах Карпатського регіону. Схема досліду включає такі варіанти:

1. Контроль (без добрив).
2. Солома гороху.
3. Солома гороху + N₉₀P₆₀K₆₀ + БС (біостимулятор).
4. Солома гороху + N₉₀P₆₀K₆₀ + БС + ГД (гумусне добриво).
5. Солома гороху + N₉₀P₆₀K₆₀ + ХД (хелатне добриво).
6. Солома гороху + N₁₅₀P₁₂₀K₁₂₀ + ГД.

Вносили гумусне добриво (ГД) двічі за вегетацію (весняне кушення та вихід у трубку) в дозі 1,5 л/га. Гумусне добриво (блек-джек) – препарат нового покоління – має високу ефективність. На відміну від гуматів, які містять гумінові та фульвокислоти, до складу входять також ульмінові кислоти та гумін, які дуже активні в рослинах. Склад ГД: гумінові кислоти – 19–21 %, фульвокислоти – 3–5 %, загальна органічна речовина (зокрема ульмінові кислоти та гумін) – 27–30 %. Препарат ефективний як у ґрунті, так і корисний для рослин.

Для поліпшення гормональної регуляції росту озимих зернових та послаблення стресових ситуацій використовували біостимулятор міллерплекс, він містить натуральні цитокиніни. Гормональна стимуляція розвитку відбувається на клітинному рівні. Склад препарату такий: азот (амідна форма) – 3,0 %, доступний фосфор (P₂O₅) –

3 %, калій (K₂O) – 30 %, екстракт водоростей (*Ascophyllum nodosum*). До складу входять також амінокислоти, специфічні вуглеводи, які поліпшують імунну систему рослин, мікроелементи в хелатованій формі.

Препарат хелатне добриво (ХД) асортименту Розалік (Zn, P, N, S) використовують для обробки рослин. Характеристика і склад препарату: амідний азот – 3 %, фосфор (P₂O₅) – 19 %, оксид сірки (SO₃) – 5,3 %, цинк (Zn) у хелатній формі з ЕДТА – 5,9 %. Вносять препарат у дозі 1,5 л/га в фазах весняне кушення та вихід у трубку.

Ґрунт дослідної ділянки – сірий лісовий поверхнево оглеєний суглинковий. Основні параметри ґрунту такі: рН сольове – 4,78–4,92, Нг (гідролітична кислотність) – 2,38–2,46 мг-екв/100 г ґрунту, вміст легкогідролізного азоту – 8,6–9,1, фосфору та калію – відповідно 10,5–11,3 та 8,4–9,0 мг/100 г ґрунту, величина загального гумусу – 1,91–1,96 %.

Вміст суми пігментів (хлорофіли *a* та *b*) визначали після їх екстрагування з рослинних тканин диметилсульфоксидом і з подальшим спектрофотометричним вимірюванням методом Велленбурга [6]. Потужність розвитку фотосинтетичного апарату рослин встановлювали за вимірювання чистої продуктивності посівів (ЧПФ, г/м² за добу).

Врожай обліковували методом пробних снопів. Елементи структури врожаю пшениці озимої визначали за В. М. Грицаєнко та ін. [4]. Отримані результати оброблено статистично з використанням програми Excel.

Результати та обговорення. Метеорологічні показники за роки досліджень мали певні особливості. Зимові та весняно-літні вегетаційні періоди пшениці озимої відрізнялися за кількістю опадів. За зиму та літо вона становила в 2021 р. 473,6 мм, а в 2022 р. – 318,3 мм за середньобагаторічних значень 458,0 мм (табл. 1).

1. Метеорологічні умови в період досліджень (2021–2022 рр.)

Місяці	Опади				Температура повітря, °С			
	мм		% норми		середньомісячна		різниця щодо норми	
	2021	2022	2021	2022	2021	2022	2021	2022
Січень	47,9	52,3	120	130	-1,5	-0,7	3,1	3,9
Лютий	95,8	25,3	222	59	-2,8	-1,8	0,9	5,3
Березень	43,1	17,3	98	40	1,7	2,6	1,2	2,1
Квітень	39,9	82,0	78	160	6,0	6,5	1,4	-0,9
Травень	55,4	24,3	65	29	13,1	13,9	0,2	1,0
Червень	97,3	31,3	104	32	19,3	19,7	3,0	3,4
Липень	94,2	85,8	92	84	22,2	19,5	4,7	2,0

Примітка: значення вищі – «+» і нижчі «-» за норму.

Відзначено певну нестачу вологи в 2022 р. протягом березня, травня та червня. Ця нестача виявилася некритичною і суттєво не вплинула на розвиток рослин та формування врожаю. Теплозабезпеченість пшениці озимої в згадані роки була сприятливою для росту та розвитку рослин. Середньомісячні температури весняно-літнього періоду виявилися близькими в 2021 та 2022 р., винятком виявився лише липень 2021 р., коли температура повітря була на 4,7 °С вища від середніх багаторічних значень, водночас такі умови сприяли дещо кращому формуванню врожаю.

Таким чином, погодні умови, які сформувалися в період росту та розвитку пшениці озимої, мали певні особливості, однак були відносно задовільними для проходження фізіологічних процесів у листках рослин та формування врожаю культури.

На вміст основних фотосинтетичних пігментів у посівах пшениці озимої відчутно вплинули біологізовані системи удобрення.

Вміст суми хлорофілів ($a + b$) у верхніх її листках у фазі цвітіння (Ц) коливався в межах 2,73–3,86 мг/г сирової речовини (табл. 2).

2. Вміст хлорофілів ($a + b$) в верхніх листках пшениці озимої у фазах цвітіння та молочно-воскової стиглості за біологізованих систем удобрення

№ вар.	Системи удобрення	Вміст хлорофілів ($a + b$), мг/г сирової речовини	
		Цвітіння	Молочно-воскова стиглість
1	Контроль (без добрив)	2,73±0,09	2,21±0,06
2	Солома гороху	2,82±0,09	2,25±0,06
3	Солома гороху + N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀ + БС	3,22±0,12	3,02±0,09
4	Солома гороху + N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀ + БС + ГД	3,62±0,19	3,38±0,14
5	Солома гороху + N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀ + ХД	3,78±0,24	3,64±0,13
6	Солома гороху + N ₁₅₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ + ГД	3,86±0,26	2,88±0,10

Мінімальний вміст суми цих пігментів був у фазі цвітіння в контрольному варіанті (2,73 мг/г сирової речовини). Близькі до абсолютного контролю показники хлорофілів ($a + b$) отримано за умов заорювання соломи (табл.

2). За внесення максимальної дози добрив (N₁₅₀P₁₂₀K₁₂₀) у варіанті 6 вміст відповідних пігментів був в 1,4 разу вищим, ніж у контролі. Дещо менший їх рівень щодо варіанта з максимальним внесенням добрив

(N₁₅₀P₁₂₀K₁₂₀) забезпечили варіанти 3, 4, 5 (табл. 2).

Фаза молочно-воскової стиглості (МВС) характеризувалася певними зменшеннями значень вмісту хлорофілів (*a* + *b*) у варіантах контролю та за умов заорювання соломи гороху: вони були на рівні 18–22 % щодо фази цвітіння.

За умов внесення мінеральних добрив + БС на фоні соломи гороху (вар. 3) вміст хлорофілів (*a* + *b*) зменшився в фазі МВС незначно, на 5,8 % щодо фази цвітіння. Це частково пояснюється здатністю стимуляторів росту затримувати деградацію хлорофілу, зберігати асиміляційну поверхню листків пшениці озимої. Внесення гумусного добрива у вар. 4 (солома гороху + N₉₀P₆₀K₆₀ + БС + ГД) поліпшило умови живлення рослин, і відповідно вміст хлорофілів зменшився у фазі МВС лише на 3,3 % щодо фази Ц. Внаслідок обробки рослин пшениці озимої хелатним добривом (ХД) вміст фотосинтетичних пігментів у фазі МВС виявився на рівні 3,64 мг/г сирової речовини, що є близьким до значення у фазі цвітіння (табл. 2).

На фоні підвищеної дози мінеральних добрив N₁₅₀P₁₂₀K₁₂₀ + солома гороху + ГД цей рівень перевищував відповідні значення контрольного варіанта в фазі МВС на 12,0 %. Однак величина пігментів за цих умов виявилася суттєво нижчою щодо варіантів з оптимальною нормою мінеральних добрив (3, 4, 5), що може бути обумовлено передчасним старінням верхніх листків за рахунок відтоку з них редуруючих цукрів у зазначеному варіанті.

Вміст хлорофілів у листках пшениці озимої не дає повної характеристики фотосинтетичної діяльності посівів. Водночас фотосинтетичний потенціал можна виразити через чисту продуктивність фотосинтезу (ЧПФ, г/м² за добу), що дає повнішу картину фотосинтетичної функції посіву. За умов використання варіантів, сформованих на базі соломи гороху + N₉₀P₆₀K₆₀ (вар. 3, 4, 5), у фазі цвітіння (Ц) показники чистої продуктивності фотосинтезу знаходилися в межах 5,22–6,08 г/м² за добу (рис. 1), що перевищувало відповідне значення в контрольному варіанті.

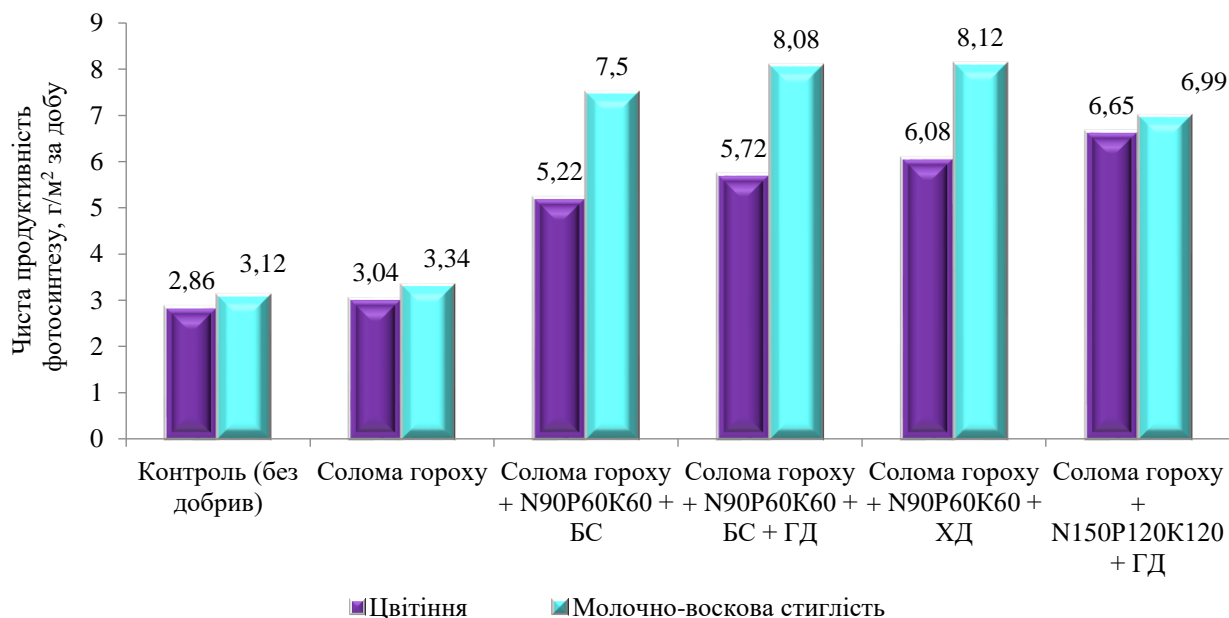


Рис. 1. Вплив біологізованих систем удобрення на чисту продуктивність фотосинтезу

У варіанті, де вивчали дію підвищеної дози мінеральних добрив $N_{150}P_{120}K_{120}$ на фоні соломи гороху + гумусне добриво, показник чистої продуктивності фотосинтезу становив $6,65 \text{ г/м}^2$. Це свідчить про розвиток вищої активності фотосинтетичного апарату впродовж фази цвітіння за вказаних умов.

У період молочно-воскової стиглості відзначено зменшення величини чистої продуктивності фотосинтезу (рис. 1) на фоні незначного зниження суми хлорофілів ($a + b$) у листках пшениці озимої (табл. 2) у варіантах 3–5. Однак вищих значень ЧПФ у досліді в фазі молочно-воскової стиглості досягнуто у варіантах з оптимальною дозою мінеральних добрив $N_{90}P_{60}K_{60}$ на фоні соломи гороху з додаванням ГД або ХД. Вказані компоненти в комплексі з базовим удобренням солома гороху + $N_{90}P_{60}K_{60}$ сприяли підвищенню ЧПФ на $1,6$ – $2,2 \text{ г/м}^2$ за добу порівняно з вар. 3. Дещо нижча інтенсивність роботи

асимілятивного апарату була в посівах пшениці озимої з внесенням вищої дози добрив ($N_{150}P_{120}K_{120}$) (вар. 6). Вища щільність стеблостою рослин за вказаних умов та дещо більша площа листків зумовили нижчі темпи хлорофільної активності та менший рівень ЧПФ у верхніх листках пшениці, ніж у варіантах 4 та 5.

Активність продукування хлорофілів ($a + b$) у прапорцевих листках і чиста продуктивність фотосинтезу обумовлюють продуктивність пшениці озимої. У цьому контексті дослідження формування колосу, а також виповненість останнього залежно від біологізованих систем удобрення є недостатньо з'ясованими і потребують більш детального вивчення.

Результати впливу біологізованих систем удобрення на елементи структури врожаю свідчать про чутливість пшениці озимої до цього агротехнічного заходу (табл. 3).

3. Показники зернової продуктивності пшениці озимої за біологізованих систем удобрення

№ вар.	Системи удобрення	Кількість зерен з колоса, шт.		Маса 1000 зерен, г	
		2021	2022	2021	2022
1	Контроль (без добрив)	22±1	22±1	27,1±0,3	28,2±0,4
2	Солома гороху	24±1	22±1	29,7±0,4	30,1±0,4
3	Солома гороху + $N_{90}P_{60}K_{60}$ + БС	34±2	31±2	34,2±0,5	36,2±0,6
4	Солома гороху + $N_{90}P_{60}K_{60}$ + БС + ГД	39±4	37±3	36,1±0,6	38,2±0,8
5	Солома гороху + $N_{90}P_{60}K_{60}$ + ХД	40±4	38±3	35,9±0,6	40,5±1,0
6	Солома гороху + $N_{150}P_{120}K_{120}$ + ГД	41±3	41±3	38,4±0,9	41,2±1,1

Відзначено, що вплив біологізованих систем удобрення на морфоознаки та врожайність пшениці озимої був неоднаковий. Істотне збільшення кількості зернин у колосі та маси 1000 зерен спостерігали у вар. 3 (солома гороху + $N_{90}P_{60}K_{60}$ + БС) порівняно з контролем та варіантом заорювання соломи. Це збільшення становило в середньому 21 %. Як видно з даних, представлених у табл. 3, вища продуктивність головного колосу пшениці озимої у варіантах 3–5 забезпечувалася за рахунок збільшення

кількості зерен та маси 1000 зернин. За таких умов питоме значення останнього показника посилювалося за умов високого рівня мінерального живлення ($N_{150}P_{120}K_{120}$) на фоні соломи гороху. Максимальну врожайність зерна забезпечив варіант з внесенням $N_{150}P_{120}K_{120}$ на фоні соломи гороху + ГД, де вона становила $5,32$ – $5,80 \text{ т/га}$ (рис. 2).

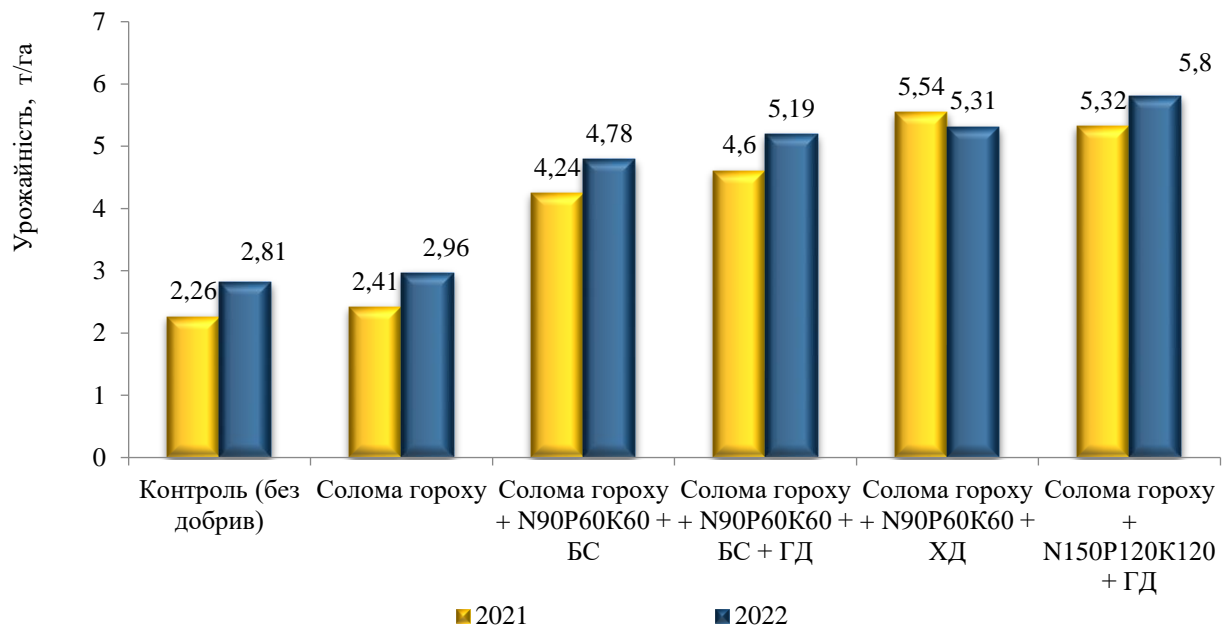


Рис. 2. Урожайність пшениці озимої за біологізованих систем удобрення

Висновки. Таким чином з'ясовано, що використання біологізованих систем удобрення позитивно вплинуло на вміст хлорофілів ($a + b$), чисту продуктивність фотосинтезу та врожайність пшениці озимої.

Вміст суми хлорофілів ($a + b$) виявився найвищим у фазі цвітіння та молочно-воскової стиглості (варіанти

внесення соломи гороху + $N_{90}P_{60}K_{60}$ + BC + ГД або обробка рослин ХД) – 3,62–3,38 та 3,78–3,64 мг/г сирової речовини. Це зумовило зростання кількості зерен у колосі та маси 1000 зерен до 36,1–40,5 г, що виразилося у збільшенні зернової продуктивності культури до 4,60–5,54 т/га.

Список використаної літератури

1. Богдан М. М., Карпенко В. П., Гуляєва Г. Б. Вплив комплексних хелатних добрив на функціональну активність тканин коренів і зернову продуктивність рослин пшениці м'якої озимої. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2015. № 1. С. 37–42.
2. Вміст фотосинтетичних пігментів у рослинах пшениці полби як критерій продуктивності за традиційної та органічної технологій вирощування / І. В. Короткова та ін. *Innovative Biosystems and Bioengineering: international scientific e-journal*. 2022. V. 6, No. 1. P. 31–39.
3. Вплив біологічно активних речовин і мікроелементів на здатність озимої пшениці використовувати фосфор трикальційфосфату / О. Є. Давидова та ін. *Физиология и биохимия культурных растений*. 2011. Т. 43, № 4. С. 307–315.
4. Грицаєнко З. М., Грицаєнко А. О., Карпенко В. П. *Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів*. Київ, 2003. 320 с.
5. Гуляєв Б. І. *Екофізіологія фотосинтезу: досягнення, стан та перспективи досліджень*.

References

1. Bohdan M. M., Karpenko V. P., Huliaieva H. B. The influence of complex chelated fertilizers on the functional activity of root tissues and grain productivity of soft winter wheat plants. *Visnyk Umanskoho natsionalnoho universytetu sadivnytstva*. 2015. No 1. P. 37–42.
2. The content of photosynthetic pigments in spelled wheat plants as a criterion of productivity under traditional and organic growing technologies / I. V. Korotkova et al. *Innovative Biosystems and Bioengineering: international scientific e-journal*. 2022. Vol. 6, No 1. P. 31–39.
3. The influence of biologically active substances and trace elements on the ability of winter wheat to use tricalcium phosphate phosphorus / O. Ye. Davydova et al. *Fiziologija i biokhimiya kul'turnyh rastenij*. 2011. Vol. 43, No 4. P. 307–315.
4. Hrytsaienko Z. M., Hrytsaienko A. O., Karpenko V. P. *Methods of biological and agrochemical research of plants and soils*. Kyiv, 2003. 320 p.
5. Huliaiev B. I. *Ecophysiology of photosynthesis: achievements, state and prospects of research*.

Фізіологія рослин в Україні на межі тисячоліть. Київ : Фітосоціоцентр, 2001. С. 60–74.

6. Зависимость между фотосинтетической активностью и содержанием сахаров во флаговом листе в конце налива зерна у контрастных по продуктивности сортов озимой пшеницы при разном уровне минерального питания / В. В. Франтичук и др. *Физиология растений и генетика*. 2014. Т. 46, № 6. С. 473–481.

7. Зв'язок вмісту хлорофілу в листках і хлорофільного індексу посівів озимої пшениці в період наливання зерна з урожайністю / Г. О. Прядкіна та ін. *Физиология растений и генетика*. 2015. Т. 47, № 2. С. 167–174.

8. Зв'язок показників активності фотосинтетичного апарату озимої пшениці з урожайністю за дії хелатованих мікродобрив / О. С. Капітанська та ін. *Физиология растений и генетика*. 2016. Т. 48, № 6. С. 530–537.

9. Зміни елементного складу рослин пшениці озимої за дії Мегафолу та ретардантів / І. М. Мірошніченко та ін. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2017. Т. 3, № 8. С. 403–409.

10. Крупа Н. М., Кірізій Д. А. Депонувальна функція стебла як складова продукційного процесу озимої пшениці. *Физиология и биохимия культурных растений*. 2011. Т. 43, № 4. С. 324–331.

11. Крупа Н. М. Фотосинтез, донорно-акцепторні відносини і продуктивність рослин пшениці. *Вісник Харківського національного аграрного університету. Серія : Біологія*. 2013. № 2. С. 20–31.

12. Кудрявицька А. М. Вплив тривалого застосування добрив на продуктивність фотосинтезу та врожайність пшениці ярої. *Вісник аграрної науки*. 2016. Т. 94, Вип. 4. С. 24–27.

13. Моргун В. В., Кірізій Д. А. Перспективи та сучасні стратегії поліпшення фізіологічних ознак пшениці для підвищення її продуктивності. *Физиология и биохимия культурных растений*. 2012. Т. 44, № 6. С. 463–483.

14. Моргун В. В., Прядкіна Г. А. Эффективность фотосинтеза и перспективы повышения продуктивности озимой пшеницы. *Физиология растений и генетика*. 2014. Т. 46, № 4. С. 279–301.

15. Найдьнова О. Є. Застосування гумінового препарату Humin plus в органічному землеробстві. *Вісник Харківського національного аграрного університету імені В. В. Докучаєва. Серія: Грунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство, екологія ґрунтів*. 2015. № 2. С. 39–50.

16. Панфілова А. В. Вплив оптимізації живлення на фотосинтетичну активність посівів та продуктивність сортів пшениці озимої в умовах Південного Степу України. *Матеріали наук. Інтернет-конф. "Інноваційні технології в рослинництві"* (м. Кам'янець-Подільський, м. Миколаїв, 15 трав. 2018 р.). Кам'янець-Подільський, Миколаїв, 2018. С. 142–144.

17. Прядкіна Г. О., Шадчина Т. М. Прогнозування зернової продуктивності озимої пшениці за

Fiziolohiia roslyn v Ukraini na mezhi tysyacholit. Kyiv : Fitosotsiotsentr, 2001. P. 60–74.

6. Relationship between photosynthetic activity and sugar content in the flag leaf at the end of grain filling in winter wheat varieties with contrasting productivity at different levels of mineral nutrition / V. V. Frantijchuk et al. *Fiziologija rastenij i genetika*. 2014. Vol. 46, No 6. P. 473–481.

7. The relationship between the content of chlorophyll in leaves and the chlorophyll index of winter wheat crops during the grain pouring period with yield / H. O. Priadkina et al. *Fiziologija rastenij i genetika*. 2015. Vol. 47, No 2. P. 167–174.

8. The relationship between indicators of the activity of the photosynthetic apparatus of winter wheat and yield under the action of chelated microfertilizers / O. S. Kapitanska et al. *Fiziologija rastenij i genetika*. 2016. Vol. 48, No 6. P. 530–537.

9. Changes in the elemental composition of winter wheat plants under the influence of Megafol and retardants / I. M. Miroshnychenko et al. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2017. Vol. 3, No 8. P. 403–409.

10. Krupa N. M., Kirizii D. A. The storage function of the stem as a component of the production process of winter wheat. *Fiziologija i biokhimiya kul'turnyh rastenij*. 2011. Vol. 43, No 4. P. 324–331.

11. Krupa N. M. Photosynthesis, source-sink relations and productivity of wheat plants. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Serie : Biolohiia*. 2013. No 2. P. 20–31.

12. Kudriavtyska A. M. The effect of long-term application of fertilizers on the productivity of photosynthesis and yield of spring wheat. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 2016. Vol. 94, Iss. 4. P. 24–27.

13. Morgun V. V., Kirizii D. A. Prospects and modern strategies for improving the physiological characteristics of wheat to increase its productivity. *Fiziologija i biokhimiya kul'turnyh rastenij*. 2012. Vol. 44, No 6. P. 463–483.

14. Morgun V. V., Prjadkina G. A. Efficiency of photosynthesis and prospects for increasing the productivity of winter wheat. *Fiziologija rastenij i genetika*. 2014. Vol. 46, No 4. P. 279–301.

15. Naidonova O. Ye. Application of the humic preparation Humin plus in organic farming. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu imeni V. V. Dokuchaieva. Serii: Gruntoznavstvo, ahrokhimiia, zemlerobstvo, lisove hospodarstvo, ekolohiia gruntiv*. 2015. No 2. P. 39–50.

16. Panfilova A. V. The influence of nutrition optimization on the photosynthetic activity of crops and the productivity of winter wheat varieties in the conditions of the southern Steppe of Ukraine. *Materialy nauk. Internet-konf. "Innovatsiini tekhnolohii v roslinnyctvi"* (m. Kamianets-Podilskyi, m. Mykolaiv, 15 trav. 2018 r.). Kamianets-Podilskyi, Mykolaiv, 2018. P. 142–144.

17. Priadkina H. O., Shadchyna T. M. Prediction of winter wheat grain productivity based on leaves'

хлорофілним фотосинтетичним потенціалом листків. *Физиология и биохимия культурных растений*. 2010. Т. 42, № 1. С. 50–61.

18. Прядкина Г. О., Шадчина Т. М. Связь между показателями мощности развития фотосинтетического аппарата и зерновой продуктивностью озимой пшеницы в разные по погодным условиям годы. *Физиология и биохимия культурных растений*. 2009. Т. 41, № 2. С. 413–419.

19. Регуляція фотосинтезу і продуктивності рослин: фізіологічні та екологічні аспекти / Т. М. Шадчина та ін. Київ, 2006. 384 с.

20. Соколовська-Сергієнко О. Г., Прядкіна Г. О., Капітанська О. С. Активність фотосинтетичного апарату та продуктивність озимої пшениці за обробки хелатованим мікродобривом і стимулятором росту. *Физиология растений и генетика*. 2015. Т. 47, № 4. С. 321–329.

21. Соколовська-Сергієнко О. Г., Кірізій Д. А. Інтенсивність фотосинтезу та активність супероксиддисмутази хлоропластів прапорцевих листків пшениці в період наливання зерна. *Физиология и биохимия культурных растений*. 2010. Т. 42, № 1. С. 67–72.

22. Стасик О. О., Кірізій Д. А. Регуляторні зв'язки і лімітувальні чинники в системі фотосинтезу – продуційний процес та перспективи їх оптимізації. *Физиология и биохимия культурных растений*. 2011. Т. 43, № 3. С. 226–238.

23. Стасик О. О., Киризий Д. А., Прядкина Г. О. Фотосинтез и проблемы повышения продуктивности растений. *Физиология растений и генетика*. 2013. Т. 45, № 6. С. 501–516.

24. Стасик О. О., Кірізій Д. А., Прядкіна Г. О. Фотосинтез і продуктивність: основні наукові досягнення та інноваційні розробки. *Физиология растений и генетика*. 2021. Т. 53, № 2. С. 160–184.

25. Стасик О. О., Киризий Д. А., Прядкина Г. А. Фотосинтез и продуктивность сельскохозяйственных растений. *Физиология растений и генетика*. 2016. Т. 48, № 3. С. 232–251.

26. Формування якості зерна пшениці озимої залежно від системи удобрення за різних погодних умов / С. І. Попов та ін. *Вісник Центру наукового забезпечення АПВ Харківської області*. 2014. № 17. С. 50–59.

27. Шадчина Т. М., Прядкіна Г. О., Моргун В. В. Зв'язок між характеристиками фотосинтетичного апарату та зерновою продуктивністю у різних сортів озимої пшениці. *Достижения и проблемы генетики, селекции и биотехнологии* : зб. наук. пр. 2007. Т. 2. С. 410–415.

28. Шакалій С. М. Якість зерна пшениці м'якої озимої за використання позакореневого підживлення в умовах Лівобережного Лісостепу України. *Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2017. № 1. С. 76–84.

29. Araus J. L., Sanchez-Bragado R., Vicente R. Improving crop yield and resilience through optimization

chlorophyll photosynthetic potential. *Fiziologija i biohimija kul'turnyh rastenij*. 2010. Vol. 42, No 1. P. 50–61.

18. Prjadkina G. O., Shadchina T. M. The relationship between the indicators of the power of development of the photosynthetic apparatus and the grain productivity of winter wheat in different years according to weather conditions. *Fiziologija i biohimija kul'turnyh rastenij*. 2009. Vol. 41, No 2. P. 413–419.

19. Regulation of photosynthesis and plant productivity: physiological and ecological aspects / T. M. Shadchyna et al. Kyiv, 2006. 384 p.

20. Sokolovska-Serhiienko O. H., Priadkina H. O., Kapitanska O. S. Activity of the photosynthetic apparatus and productivity of winter wheat after treatment with chelated microfertilizer and growth stimulator. *Fiziologija rastenij i genetika*. 2015. Vol. 47, No 4. P. 321–329.

21. Sokolovska-Serhiienko O. H., Kirizii D. A. Intensity of photosynthesis and activity of superoxide dismutase of chloroplasts of flag leaves of wheat during the grain filling period. *Fiziologija i biohimija kul'turnyh rastenij*. 2010. Vol. 42, No 1. P. 67–72.

22. Stasyk O. O., Kirizii D. A. Regulatory relationships and limiting factors in the system photosynthesis – production process and prospects for their optimization. *Fiziologija i biohimija kul'turnyh rastenij*. 2011. Vol. 43, No 3. P. 226–238.

23. Stasyk O. O., Kirizij D. A., Prjadkina G. O. Photosynthesis and problems of increasing plant productivity. *Fiziologija rastenij i genetika*. 2013. Vol. 45, No 6. P. 501–516.

24. Stasyk O. O., Kirizii D. A., Priadkina H. O. Photosynthesis and productivity: main scientific achievements and innovations. *Fiziologija rastenij i genetika*. 2021. Vol. 53, No 2. P. 160–184.

25. Stasyk O. O., Kirizij D. A., Prjadkina G. O. Photosynthesis and productivity of agricultural plants. *Fiziologija rastenij i genetika*. 2016. Vol. 48, No 3. P. 232–251.

26. Formation of winter wheat grain quality depending on the fertilization system under different weather conditions / S. I. Popov et al. *Visnyk Tsentru naukovoho zabezpechennia APV Kharkivskoi oblasti*. 2014. No 17. P. 50–59.

27. Shadchyna T. M., Priadkina H. O., Morhun V. V. The relationship between the characteristics of the photosynthetic apparatus and grain productivity in different varieties of winter wheat. *Dosiahnennia i problemy henetyky, selektsii i biotekhnologii* : zб. nauk. pr. 2007. Vol. 2. P. 410–415.

28. Shakalii S. M. Grain quality of soft winter wheat with the use of foliar fertilization in the conditions of the left-bank forest-steppe of Ukraine. *Naukovi dopovidi Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy*. 2017. No 1. P. 76–84.

29. Araus J. L., Sanchez-Bragado R., Vicente R. Improving crop yield and resilience through optimization of photosynthesis: panacea or pipe dream? *Journal of*

of photosynthesis: panacea or pipe dream? *Journal of Experimental Botany*. 2021. V. 72, No 11. P. 3936–3955.

30. Bojović B. M., Stojanović J. Chlorophyll and carotenoid content in wheat cultivars as a function of mineral nutrition. *Archives of Biological Sciences*. 2005. V. 57, No 4. P. 283–290.

31. Kuiper P. J. Adaptation mechanisms of green plants to environmental stress: The role of plant sterols and the phosphatidyl linolenoyl cascade in the functioning of plants and the response of plants to global climate change. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 1998. V. 851, No 1. P. 209–215.

32. Kutasy E., Csajbók J., Borbely E. H. Relations between yield and photosynthetic activity of winter wheat varieties. *Cereal Research Communications*. 2005. V. 33, No 1. P. 173–176.

33. Mineral-ecological cropping systems – a new approach to improve ecosystem services by farming without chemical synthetic plant protection / B. Zimmermann et al. *Agronomy*. 2021. V. 11, No 9. P. 1710–1741.

34. Plant hormone cytokinin at the crossroads of stress priming and control of photosynthesis / M. Hudeček et al. *Frontiers in Plant Science*. 2023. V. 13. P. 1103088–1103097.

Experimental Botany. 2021. Vol. 72, No 11. P. 3936–3955.

30. Bojović B. M., Stojanović J. Chlorophyll and carotenoid content in wheat cultivars as a function of mineral nutrition. *Archives of Biological Sciences*. 2005. Vol. 57, No 4. P. 283–290.

31. Kuiper P. J. Adaptation mechanisms of green plants to environmental stress: The role of plant sterols and the phosphatidyl linolenoyl cascade in the functioning of plants and the response of plants to global climate change. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 1998. Vol. 851, No 1. P. 209–215.

32. Kutasy E., Csajbók J., Borbely E. H. Relations between yield and photosynthetic activity of winter wheat varieties. *Cereal Research Communications*. 2005. Vol. 33, No 1. P. 173–176.

33. Mineral-ecological cropping systems – a new approach to improve ecosystem services by farming without chemical synthetic plant protection / B. Zimmermann et al. *Agronomy*. 2021. Vol. 11, No 9. P. 1710–1741.

34. Plant hormone cytokinin at the crossroads of stress priming and control of photosynthesis / M. Hudeček et al. *Frontiers in Plant Science*. 2023. Vol. 13. P. 1103088–1103097.