

DOI: 10.32636/01308521.2025-(78)-1-4

Оригінальна наукова стаття

УДК 631.89:633.11:631.559

ОСОБЛИВОСТІ ФОТОСИНТЕЗУ ТА ПРОДУКЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ ЗА ВИКОРИСТАННЯ БІОЛОГІЗОВАНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ В ЛАНКАХ СІВОЗМІН**А. О. Дубицька, О. Й. Качмар, О. Л. Дубицький**

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

Про авторів:

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

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

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

Для листування:

Оксана КАЧМАР
e-mail: oksanaostrowska@ukr.net

Інформація про фінансування:

Національна академія аграрних наук
України

Отримано:

4 липня 2025 р.

Погоджено до друку:

15 липня 2025 р.

Опубліковано:

30 вересня 2025 р.

Вивчали особливості загальної біотичної продуктивності пшениці озимої, зокрема динаміку вмісту хлорофілів ($a + b$) у верхніх листках (прапорцевий і підпрапорцевий), чисту продуктивність фотосинтезу (ЧПФ) у період весняного кушення, трубкування, колосіння – цвітіння та молочно-воскової стиглості і зернову продуктивність (фаза воскової стиглості зерна) за біологізованих систем удобрення (БСУ). Вони передбачали внесення соломи бобових (горох або кормові боби) + $N_{90}P_{60}K_{60}$. Додатковими факторами оптимізації живлення слугували біостимулятор (БС, обробка рослин) і гумусне добриво (ГД, прикореневе внесення), а також хелатне добриво (ХД, обробка рослин). Зазначені системи удобрення позитивно впливали на сумарний вміст хлорофілів ($a + b$) та ЧПФ. Обробки рослин пшениці озимої БС і ГД стимулювали зростання сумарного вмісту хлорофілів та ЧПФ від 2,37–2,31 мг/г та 4,80–5,12 г/м² за добу у фазі весняного кушення до 3,59–3,82 мг/г та 7,92–8,06 г/м² за добу на етапах колосіння – цвітіння. Період цвітіння – молочно-воскової стиглості характеризувався істотним зменшенням ефективності фотосинтетичних процесів (вміст пігментів, ЧПФ). За дії на рослини БС, ГД або ХД на базовому фоні удобрення показники маси зерен з колоса і маси 1000 зерен збільшувалися, що своєю чергою сприяло забезпеченню рівня врожаю 5,66–5,81 т/га. З'ясовано особливості мікроелементного складу зерна пшениці озимої (Mn, Fe, Zn, Cu) за БСУ. Найвищий рівень Fe, Cu та Zn у зерні пшениці озимої виявлено за умов систем удобрення з застосуванням БС або ХД на фоні $N_{90}P_{60}K_{60}$. За використання ГД, яке володіє адсорбуючою здатністю, спостерігали тенденцію до зниження вмісту вказаних мікроелементів. Кількість їх у зерні пшениці озимої не перевищувала гранично допустимих значень.

Ключові слова: пшениця озима, біологізовані системи удобрення, вміст хлорофілів, чиста продуктивність фотосинтезу, елементи продуктивності рослин.

Стаття з відкритим доступом на умовах ліцензії Creative Commons.

© Дубицька А. О., Качмар О. Й., Дубицький О. Л., 2025

Features of photosynthesis and production processes of winter wheat under using biologized fertilization systems in crop rotation links

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

About authors:

Anhelina DUBYTSKA
ORCID: 0000-0002-5685-0237

Oksana KACHMAR
ORCID: 0000-0002-0382-6030

Alexander DUBYTSKYI
ORCID: 0000-0002-8293-4119

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

Funding information:
National Academy of Agrarian
Sciences of Ukraine

Received:
July 4, 2025
Accepted:
July 15, 2025
Published:
September 30, 2025

The features of the total biotic productivity of winter wheat were studied, in particular, the dynamics of the chlorophyll ($a + b$) content in the upper leaves (the flag and subflag leaves), net photosynthesis productivity (NPP) during spring tillering, emergence into tube, earing–flowering and milky-wax ripeness, and grain productivity (wax ripeness stage of grain filling) under the conditions of biologized fertilizer systems (BFS). They assumed the application of legume straw (peas or fodder beans) + $N_{90}P_{60}K_{60}$. Additional factors for nutrition optimization were a biostimulator (BS, plant treatment) and humic fertilizer (HF, root application), as well as chelate fertilizer (CF, plant treatment). The above fertilizer systems had a positive effect on the total chlorophyll ($a + b$) content and NPP. Treatment of winter wheat plants with BS and HF stimulated an increase in the total content of chlorophylls and NPP from 2.37–2.31 mg/g and 4.80–5.12 g/m² per day in the spring tillering stage to 3.59–3.82 mg/g and 7.92–8.06 g/m² per day at the earing–flowering stages, respectively. The flowering–milky-wax ripeness period was characterized by a significant decrease in the efficiency of photosynthetic processes (pigment content, NPP). When exposed to BS, HF, or CF on a basic fertilizer background, the grain weight per ear and 1000-grain weight increased, which in turn contributed to a yield of 5.66–5.81 t/ha. The features of the trace element composition of winter wheat grain (Mn, Fe, Zn, and Cu) under BFS conditions were determined. The highest level of Fe, Cu, and Zn content in winter wheat grain was found under the conditions of fertilizer systems using BS or CF against the background of $N_{90}P_{60}K_{60}$. When using HF, which has an adsorbing capacity, a tendency to decrease the content of these trace elements was observed. Their content in winter wheat grain did not exceed the maximum permissible values.

Keywords: winter wheat, biologized fertilizer systems, chlorophyll content, net productivity of photosynthesis, elements of plant productivity.

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

Вступ. Сучасний стан досліджень проблеми фотосинтезу дає підставу вважати, що фотосинтетична діяльність сільськогосподарських культур є фізіологічною основою їх продуктивності й значною мірою залежить від вмісту пігментів у рослинах. Ключове значення мають зелені пігменти, хлорофіли a і b – чутливі індикатори фізіологічного стану рослин. Кількість і функціональна активність цих пігментів є показником потенційної здатності рослин формувати врожай [1, 6, 10, 13, 25]. Зазначені пігменти беруть безпосередню участь у формуванні фотосинтетичного апарату, відіграють важливу роль у фотохімічних реакціях,

пов'язаних з поглинанням і трансформацією енергії, яка потрібна в процесах синтезу речовин для росту та розвитку рослин. Важливе значення в цьому аспекті відіграє чиста продуктивність фотосинтезу, яка характеризується більшою кількістю метаболітів і структурних речовин, утворених у процесі розвитку і росту рослин [2, 11, 14, 17, 24]. Зауважимо, що збільшення тривалості роботи асиміляційного апарату сприяє зростанню поглинання фотосинтетично активної радіації та перетворенню її на органічні речовини [3, 5, 26, 28]. Такі властивості рослин пшениці озимої значною мірою

закріплені генетично, проте слід зазначити, що як шлях для досягнення аналогічних якостей може бути використання інноваційних елементів у технологіях вирощування культури. Важливим резервом удосконалення систем удобрення є вторинна рослинна продукція нетоварного врожаю – пожнивні рештки, солома тощо, а саме використання як добрива соломи зернових або зернобобових культур [18, 23, 27].

Низка вчених вказує на позитивний вплив загортання соломи зернових попередників для вирощування пшениці озимої. Зароблення її в ґрунт поліпшує кореневе живлення і фізичну структуру орного горизонту [7, 8, 12]. За розкладання соломи до ґрунту надходять не тільки мінеральні елементи, але й утворюється значна кількість вуглекислого газу, що використовується рослинами для фотосинтезу. В середньому 1 т соломи зернових містить: 0,5 % азоту, 0,25 % фосфорного ангідриду, 0,8 % калію, 35–40 % вуглецю. Крім того, у соломі міститься кальцій та магній, які здатні нейтралізувати кислотність ґрунту, та низка мікроелементів (В, Cu, Mn, Zn, Co, Fe). Щодо соломи бобових (горох, кормові боби, соя, люпин, вика), то вміст N і K у ній є вищим, ніж у зернових, а також рівень Ca та Mg в 2,0–6,1 рази вищий [15, 20].

Для посилення екологізації та біологізації систем удобрення актуальним і доречним є використання гумусних добрив. Особливо важлива роль цих добрив у послабленні дії несприятливих зовнішніх факторів на рослини, зокрема вони нівелюють негативний вплив високих доз мінеральних добрив, підвищують стійкість до важких металів і, основне, – відчутно активізують аборигенну мікрофлору ґрунту і позитивно впливають на ґрунтово-біологічні процеси [9, 16, 22].

Важливим екологічним засобом для підвищення ефективності використання рослинами поживних елементів мінеральних добрив і ґрунту є рістстимулюючі речовини [21]. Як відомо, застосування цих біологічно активних

речовин дає змогу повніше реалізувати потенційні можливості рослин.

Ще одним шляхом досягнення подібного ефекту може бути застосування хелатних добрив [4, 21], вміст відповідних мікроелементів в яких забезпечує багатовекторний вплив на ріст і розвиток рослин. Зокрема, мікроелементи, які є в складі цих добрив, можуть брати участь в окисно-відновних процесах, фотосинтезі, азотному і вуглеводному обміні, входять до складу ферментів, вітамінів, підвищують стійкість до хвороб.

Висока продуктивність пшениці озимої і екологічна якість зерна характеризується оптимальними параметрами структури посівів, оскільки це є важливим чинником збалансованості продукції та її екологічності [19, 29].

Таким чином, для підтримання екобезпеки сталого розвитку рослинництва важливе значення має впровадження інноваційних систем удобрення, зокрема біологізованих, за вирощування пшениці озимої.

Вивчення потужності фотосинтетичного апарату та складових продукційного процесу пшениці озимої, аналіз еколого-агрономічних аспектів удосконалення систем удобрення шляхом їх біологізації було метою наших досліджень.

Матеріали і методи. Дослідження проводили в 2021–2022 рр. у полі пшениці озимої (*Triticum aestivum* L.) сорту Краєвид, висіяної після гороху та кормових бобів в умовах достатнього зволоження Лісостепу Західного на сірому лісовому поверхнево оглеєному середньосуглинковому ґрунті. Експеримент провели у полі стаціонарного досліду з вивчення наукових основ управління продуктивністю короткоротаційних сівозмін в Інституті сільського господарства Карпатського регіону НААН. Схема досліду включає такі варіанти:

Блок I

1. Контроль (без добрив).
2. Солома гороху (г.).
3. Солома г. + N₉₀P₆₀K₆₀.

4. Солома г. + N₉₀P₆₀K₆₀ + БС.
5. Солома г. + N₉₀P₆₀K₆₀ + БС + ГД.
6. Солома г. + N₉₀P₆₀K₆₀ + ХД.

Блок II

1. Контроль (без добрив).
2. Солома кормових бобів (к. б.).
3. Солома к. б. + N₉₀P₆₀K₆₀.
4. Солома к. б. + N₉₀P₆₀K₆₀ + БС.
5. Солома к. б. + N₉₀P₆₀K₆₀ + БС + ГД.
6. Солома к. б. + N₉₀P₆₀K₆₀ + ХД.

Для поліпшення гормональної регуляції росту озимих зернових та послаблення стресових ситуацій використовували біостимулятор (БС) Міллерплекс, який містить натуральні цитокініни. Склад препарату: азот (амідна форма) – 3,0 %, доступний фосфор (P₂O₅) – 3,0 %, рухомий калій (K₂O) – 30,0 % і екстракт водоростей (*Ascophyllum nodosum*), а також амінокислоти, специфічні вуглеводи і мікроелементи в хелатованій формі.

Вносили гумусне добриво (ГД) – препарат нового покоління, що має високу ефективність. До складу входять, окрім гумінових та фульвокислот, також ульмінові кислоти та гумін, які дуже ефективні в рослинах. Склад ГД: гумінові кислоти – 19–21 %, фульвокислоти – 3–5 %, ульмінові кислоти і гумін – 27–30 %. Препарат ефективний для ґрунту та рослин.

Рослини оброблено хелатним добривом (ХД) з вмістом Zn, P, N, S. Склад препарату: амідний азот – 3,0 %, фосфор – 19,8 %, сірка – 5,3 % та цинк у хелатній формі – 5,9 %.

Дослід закладено на сірому лісовому поверхнево оглеєному суглинковому ґрунті. Ґрунт характеризується слабкою кислотою реакцією (рН_{KCl} – 4,8–4,9), нижчою від середньої забезпеченістю

легкогідролізним азотом – 86–90 мг/кг ґрунту та середньою забезпеченістю рухомими формами фосфору і калію: 108 та 86 мг/кг ґрунту.

Обліковували врожай методом пробних снопів. Рослини аналізували (структура врожаю) за В. О. Єщенком та ін., вміст хлорофілів *a* та *b* – за Валленбурном, чисту продуктивність фотосинтезу – за М. М. Городнім (1972), вміст мікроелементів визначали на флуоресцентному спектрофотометрі TLFA в проточному гелі високої чистоти.

Результати та обговорення.

Виробництво зерна в Україні – стратегічна і найефективніша галузь народного господарства. Тому сьогодні на перший план виходять дослідження, присвячені пошуку альтернативних, екологічно безпечних засобів підвищення продуктивності рослин, які базуються на активації їхніх природних метаболічних механізмів. У цьому контексті цікавим і малодослідженим є аналіз впливу біологізованих систем удобрення (БСУ) в ланках сівозмін на формування фотосинтетичних та продукційних процесів у пшениці озимої. В основі зв'язку між вмістом хлорофілів й продуктивністю рослин є енергетична основа фотосинтезу: поглинання фотосинтетичними пігментами сонячної радіації, яка використовується для утворення органічних речовин. Важливою характеристикою цих процесів є вміст пігментів: хлорофілів *a*, *b* та їх суми (*a* + *b*).

Сумарний вміст хлорофілів (*a* + *b*) у верхніх листках пшениці озимої (після гороху або кормових бобів) (контроль) (табл. 1) в фазі весняного кущення становив 1,62 та 1,58 мг/г.

1. Динаміка вмісту суми хлорофілів (*a* + *b*) у верхніх листках пшениці озимої за біологізованих систем удобрення в ланках сівозмін, мг/г сирової речовини

№ вар.	Системи удобрення	Весняне кущення	Трубкування	Колосіння – цвітіння	Молочно-воскова стиглість
1	2	3	4	5	6
Блок I					
1	Контроль (без добрив)	1,62	1,92	2,55	1,74

1	2	3	4	5	6
2	Солома гороху (г.)	1,67	1,98	2,64	1,74
3	Солома г. + N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	2,03	2,71	3,07	2,25
4	Солома г. + N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀ + БС	2,19	2,87	3,22	2,53
5	Солома г. + N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀ + БС + ГД	2,37	3,08	3,72	2,83
6	Солома г. + N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀ + ХД	2,23	3,05	3,74	2,90
Блок II					
1	Контроль (без добрив)	1,58	2,00	2,45	1,60
2	Солома кормових бобів (к. б.)	1,65	2,06	2,53	1,60
3	Солома к. б. + N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1,93	2,63	2,98	2,10
4	Солома к. б. + N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀ + БС	2,07	2,74	3,06	2,20
5	Солома к. б. + N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀ + БС + ГД	2,31	2,88	3,63	2,68
6	Солома к. б. + N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀ + ХД	2,24	2,96	3,75	2,86

Заорювання соломи згаданих бобових не дало позитивного ефекту щодо вмісту хлорофілів. Збільшення вмісту хлорофілів ($a + b$) відзначено за умов біологізованих систем удобрення, а це варіанти 3–6, де він становив 2,19–2,37 та 1,93–2,24 мг/г, що вище від контролю на 2,5–4,6 %. У фазі трубкування пшениці озимої це перевищення виявилось більш показовим: на 35–46 та 22–42 %. У фазі колосіння – цвітіння воно було максимальним (3,07–3,74 та 2,98–3,75 мг/г). У період молочно-воскової стиглості настає старіння листків, сповільнюється асиміляція CO₂ через деградацію ферментних білків і реутилізацію азотовмісних сполук у зерно. Внаслідок цього відчутно зменшився вміст згаданих пігментів (до 2,25–2,90 мг/г сирової речовини).

За результатами польових досліджень визначали вплив БСУ на потужність фотосинтетичного апарату листків пшениці озимої. Відзначено відповідні закономірності змін вмісту пігментів ($a + b$) за цих умов. За внесення соломи бобових + N₉₀P₆₀K₆₀ вміст пігментів ($a + b$) становив 2,98–3,07 мг/г у фазі колосіння – цвітіння. Дворазова обробка рослин біостимулятором на фоні (солома бобових + N₉₀P₆₀K₆₀) зумовила зростання суми пігментів ($a + b$) порівняно з варіантом відсутності обробки (вар. 3) на 0,15–0,67 мг/г.

Виявлено, що застосування біостимулятора пролонгувало його дію до молочно-воскової стиглості. За даними літератури, більшість біостимуляторів стримують старіння верхніх листків та розклад відповідних пігментів [16, 21]. Вплив позакореневої обробки посівів пшениці озимої гумусним добривом на фоні (солома бобових + N₉₀P₆₀K₆₀ + БС) проявився в підвищенні вмісту суми хлорофілів щодо варіанта 4 в фазі колосіння – цвітіння на 0,5 мг. Цю закономірність відзначено також у період молочно-воскової стиглості. Обробка (дворазова) пшениці озимої хелатним добривом (на основному фоні – вар. 3) вплинула аналогічно на вміст хлорофілів, який у фазі колосіння – цвітіння становив 3,70–3,75, що вище, ніж у варіанті 3 на 0,68–0,77 мг/г. Це вказує на позитивний вплив ХД щодо нагромадження пігментів у відповідній фазі. Цей стан обумовлений впливом вказаних добрив на антиоксидантні ферменти, що свідчить про активізацію захисних реакцій фотосинтетичного апарату та продовження його активного функціонування.

З вмістом пігментів ($a + b$) в верхніх листках пшениці озимої тісно пов'язана чиста продуктивність фотосинтезу. Від весняного кущення до колосіння – цвітіння спостерігали зростання величини чистої продуктивності фотосинтезу (рис. 1, 2).

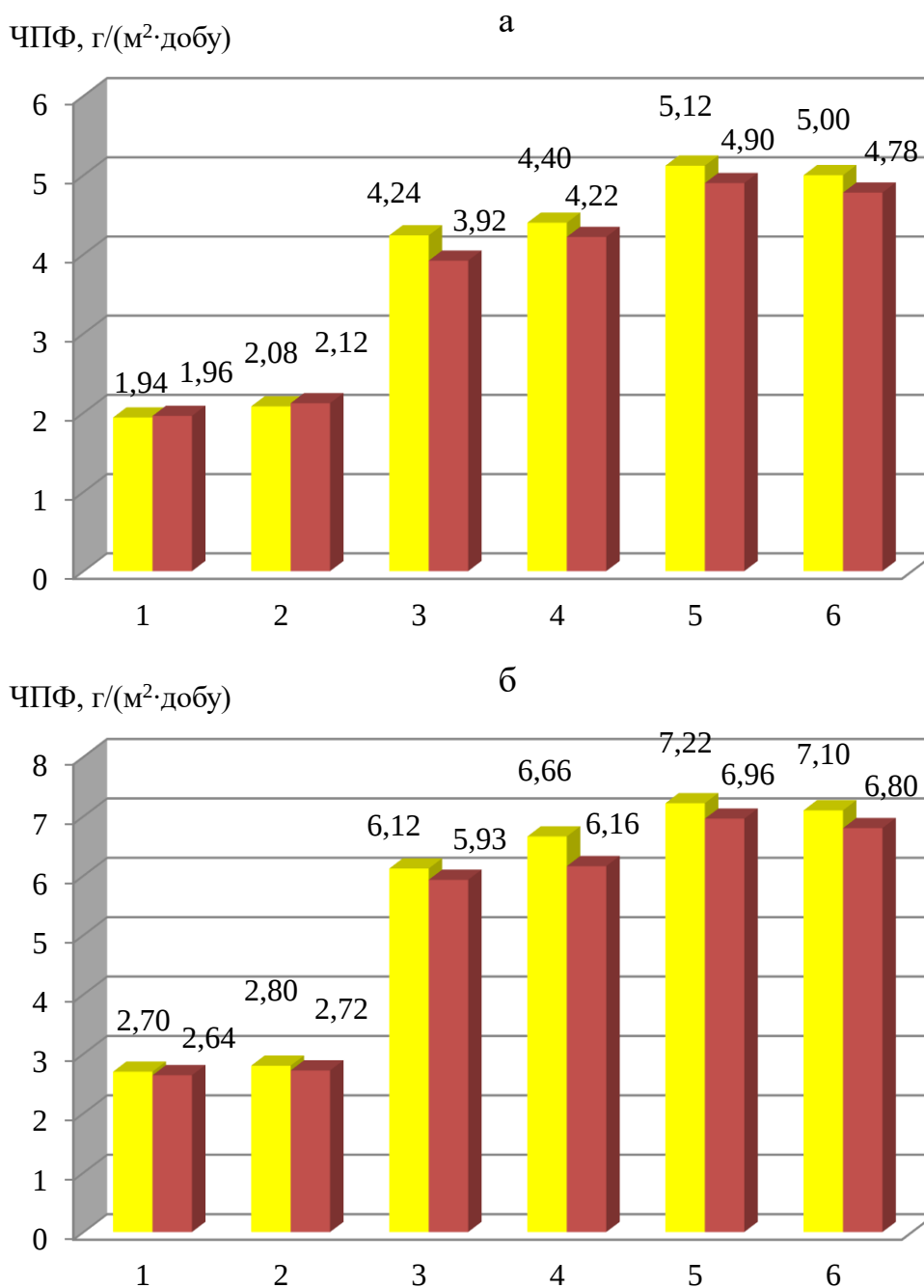


Рис. 1. Зміни чистої продуктивності фотосинтезу (ЧПФ) у двох перших фазах онтогенезу пшениці озимої: а, б – відповідно фази весняного кушення, трубкування; за віссю ординат – ЧПФ, г сирої речовини/(м² посіву · добу); світлі стовпці за номерами 1, 2, 3, 4, 5, 6 – дослідні варіанти на основі соломи гороху (г.): контроль (без добрив), солома г., солома г. + N₉₀P₆₀K₆₀, солома г. + N₉₀P₆₀K₆₀ + БС, солома г. + N₉₀P₆₀K₆₀ + БС + ГД, солома г. + N₉₀P₆₀K₆₀ + ХД; темні стовпці за номерами 1, 2, 3, 4, 5, 6 – дослідні варіанти на основі соломи кормових бобів (к. б.): контроль (без добрив), солома к. б., солома к. б. + N₉₀P₆₀K₆₀, солома к. б. + N₉₀P₆₀K₆₀ + БС, солома к. б. + N₉₀P₆₀K₆₀ + БС + ГД, солома к. б. + N₉₀P₆₀K₆₀ + ХД

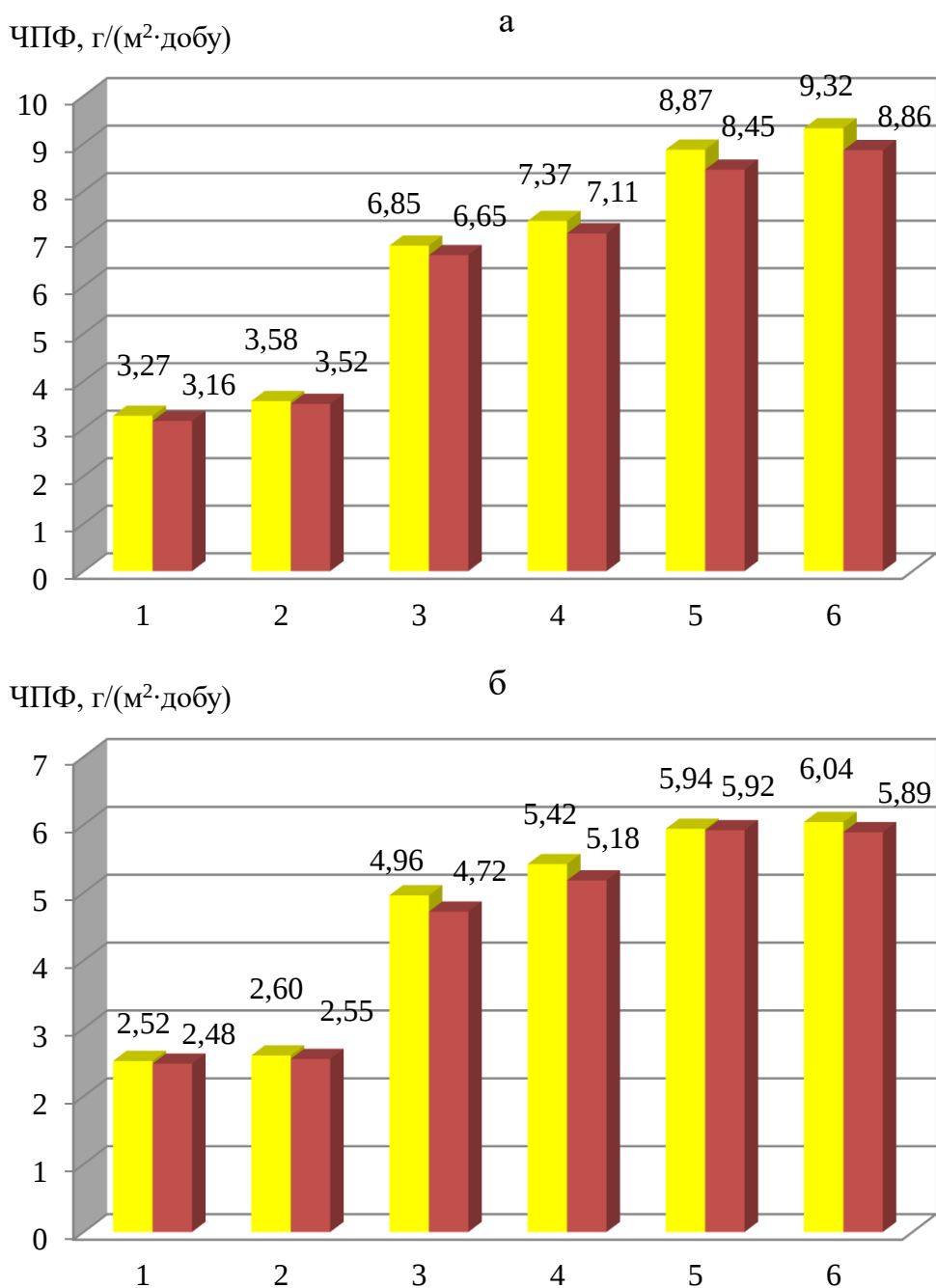


Рис. 2. Чиста продуктивність фотосинтезу (ЧПФ) у двох наступних фазах онтогенезу пшениці озимої: а, б – відповідно фази онтогенезу колосіння – цвітіння, молочновоскова стиглість; за віссю ординат – ЧПФ, г сирої речовини/(м² посіву · добу); світлі стовпці за номерами 1, 2, 3, 4, 5, 6 – дослідні варіанти на основі соломи гороху (г.): контроль (без добрив), солома г., солома г. + N₉₀P₆₀K₆₀, солома г. + N₉₀P₆₀K₆₀ + БС, солома г. + N₉₀P₆₀K₆₀ + БС + ГД, солома г. + N₉₀P₆₀K₆₀ + ХД; темні стовпці за номерами 1, 2, 3, 4, 5, 6 – дослідні варіанти на основі соломи кормових бобів (к. б.): контроль (без добрив), солома к. б., солома к. б. + N₉₀P₆₀K₆₀, солома к. б. + N₉₀P₆₀K₆₀ + БС, солома к. б. + N₉₀P₆₀K₆₀ + БС + ГД, солома к. б. + N₉₀P₆₀K₆₀ + ХД

Особливо слід відзначити варіанти 4; 5 та 6, де простежується найвищий рівень наростання маси листків (фаза колосіння –

цвітіння). Ці значення перевищували дані в контрольних варіантах у 2,2–2,9 рази. Виявлено, що заорювання соломи

кормових бобів у БСУ (блок II) призводило до тенденційного зниження інтенсивності наростання маси рослин пшениці озимої щодо варіантів з використанням соломи гороху, що може бути обумовлено кращим забезпеченням азотом після вказаного попередника.

Використання біологізованих систем удобрення впливає на перебіг фізіолого-біохімічних процесів у тканинах рослин пшениці озимої в осінній та весняно-літній періоди вегетації, що відображається на формуванні елементів структури врожаю культури (табл. 2).

2. Елементи зернової продуктивності врожаю пшениці озимої за біологізованих систем удобрення в ланках сівозмін

№ вар.	Системи удобрення	Кількість продуктивних стебел, шт./м ²	Кількість зерен у колосі, шт.	Маса зерна з колоса, г	Маса 1000 зерен, г	Врожай, т/га
Блок I						
1	Контроль (без добрив)	287	26	1,08	27,3	2,89
2	Солома гороху (г.)	292	27	1,12	28,8	3,07
3	Солома г. + N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	378	33	1,29	36,9	5,12
4	Солома г. + N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀ + БС	393	36	1,32	38,3	5,32
5	Солома г. + N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀ + БС + ГД	412	39	1,41	39,4	5,72
6	Солома г. + N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀ + ХД	399	39	1,38	40,4	5,87
Блок II						
1	Контроль (без добрив)	282	24	0,97	26,3	2,77
2	Солома кормових бобів (к. б.)	297	25	1,08	27,3	2,93
3	Солома к. б. + N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	352	33	1,30	35,7	5,00
4	Солома к. б. + N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀ + БС	360	35	1,32	37,3	5,20
5	Солома к. б. + N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀ + БС + ГД	388	38	1,39	38,7	5,59
6	Солома к. б. + N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀ + ХД	378	39	1,40	39,0	5,71

НІР_{0,05}

0,18

Густота продуктивного стеблостою варіювала залежно від систем удобрення. У середньому за роки досліджень найменшу кількість продуктивних стебел сформували рослини контрольного варіанта – 287 шт./м². Використання соломи бобових + N₉₀P₆₀K₆₀ (вар. 3) сприяло підвищенню цього показника на 3,1–3,2 % щодо контролю. Обробка рослин біостимулятором (БС) підвищила кількість продуктивних стебел на 3,5–3,6 % щодо контролю. Поєднання внесення гумусного добрива (ГД) з біостимулятором на фоні (N₉₀P₆₀K₆₀ + солома бобових) мало позитивний вплив на розвиток рослин, що проявилось у збільшенні цього показника в 1,9 разу щодо контролю. Обробка рослин хелатним добривом також позитивно вплинула на продуктивний стеблостій,

який зріс порівняно з контрольним варіантом в 1,4 разу.

Кількість зерен у колосі – це важливий показник структури врожаю. Він залежить від кількості квіток у колосі, які починають закладатися в період виходу в трубку, і завершується в час колосіння та квітіння рослин. Позитивний вплив БСУ проявився в збільшенні кількості зерен у колосі щодо контрольного варіанта в середньому на 48–50 %. Найвищий рівень цього показника відзначено у варіантах 5 та 6 (табл. 2).

Після завершення цвітіння рослин настає період, коли відбувається формування та наливу зернівок колосу. Саме в цей час значний вплив мають умови, в яких відбувається процес формування ваговитості зерна, і позначаються вони на

двох показниках структури врожаю – масі зерен 1 колоса та масі 1000 зерен.

Маса зерен з 1 колоса та маса 1000 зерен за використання соломи бобових (горох або кормові боби + $N_{90}P_{60}K_{60}$) зросла відповідно на 19 і 34 % порівняно з контрольним варіантом. Додавання БС та гумусного добрива або хелатного (вар. 4–6) підсилювало вплив базової системи удобрення (3-й варіант), що позначилося на збільшенні маси зерен 1 колоса на 29,0–30,0 %, маси 1000 зерен – на 40–44 % порівняно з контролем.

Отже, отримані дані показують, що застосування БСУ вплинуло на формування структури врожаю та відповідно врожайність пшениці озимої загалом. У середньому за роки досліджень найнижчу врожайність (на рівні 2,89 і 2,77 т/га) було сформовано в контрольних варіантах (табл. 2). Застосування як попередника пшениці озимої соломи гороху або кормових бобів з додаванням $N_{90}P_{60}K_{60}$ сприяло зростанню врожайності на 77–80 % щодо контрольного варіанта. Використання БС і ГД у посівах пшениці озимої (на фоні композиції вар. 3) збільшувало врожайність порівняно з першим варіантом (контроль) відповідно в 1,9–2,0 та 1,12–1,18 рази.

Отже, за внесення відповідних інноваційних елементів ефект впливу заораної соломи з оптимальною дозою добрив посилюється.

Таким чином, найбільшу врожайність сформували рослини за умов БСУ з вмістом БС та ГД, а також з використанням ХД.

Актуальною залишається на сьогодні також якість урожаю пшениці озимої.

Мікроелементний склад сільськогосподарських культур є важливим показником їх біологічної цінності. Відхилення вмісту елементів у зерні від оптимального рівня у бік збільшення або зменшення призводять до проблем здоров'я людини. У зерні пшениці мікроелементи не мають перевищувати гранично допустимі концентрації. Так, для цинку ця величина становить не більше ніж 50 мг/кг, а для заліза – 100 мг/кг і т. ін.

Отримані дані вмісту мікроелементів у зерні пшениці озимої (Fe, Cu, Zn, Mn) свідчать, що відмінності елементного складу зерна залежать від біологізованих систем удобрення.

В умовах контрольного варіанта (вар. 1) після гороху вміст заліза (Fe) виявився найнижчим (табл. 3).

3. Вміст мікроелементів у зерні пшениці озимої за біологізованих складових землеробства (удобрення, попередники), мг/кг

№ вар.	Системи удобрення	Fe	Cu	Zn	Mn
Блок I					
1	Контроль (без добрив)	16,8	3,1	10,1	12,5
2	Солома гороху (г.)	18,3	3,6	12,4	12,4
3	Солома г. + $N_{90}P_{60}K_{60}$	22,6	4,8	13,9	14,3
4	Солома г. + $N_{90}P_{60}K_{60}$ + БС	23,4	5,3	14,4	14,5
5	Солома г. + $N_{90}P_{60}K_{60}$ + БС + ГД	22,0	4,2	13,2	13,7
6	Солома г. + $N_{90}P_{60}K_{60}$ + ХД	24,2	5,2	14,7	14,0
Блок II					
1	Контроль (без добрив)	18,1	3,3	11,4	13,0
2	Солома кормових бобів (к. б.)	21,8	3,8	12,9	13,3
3	Солома к. б. + $N_{90}P_{60}K_{60}$	24,2	5,8	14,3	14,7
4	Солома к. б. + $N_{90}P_{60}K_{60}$ + БС	24,8	6,0	14,8	14,8
5	Солома к. б. + $N_{90}P_{60}K_{60}$ + БС + ГД	23,8	5,2	14,4	13,8
6	Солома к. б. + $N_{90}P_{60}K_{60}$ + ХД	24,5	5,8	15,8	14,2

Внесення мінеральних добрив ($N_{90}P_{60}K_{60}$) на фоні заораної соломи забезпечило зростання вмісту згаданого мікроелемента до 22,6–25,2 мг/кг, а додавання до цієї композиції біостимулятора або хелатного добрива (вар. 4 та 6) сприяло підвищенню вмісту заліза на 0,8–1,6 мг/кг щодо варіанта 3. За умов використання системи удобрення з гумусним добривом (вар. 5) нагромадження вказаного елемента зросло щодо контролю, але виявилось нижчим, ніж у варіантах 4 та 6. Відомо, що гумусні речовини та гумусові удобрення мають адсорбуючу здатність, що могло призвести до відзначеного ефекту. Щодо мікроелемента міді, то застосування мінеральних добрив на фоні соломи бобових з додаванням БС або ХД підвищило її вміст порівняно з контролем на 64–69 %, а щодо базового удобрення (вар. 3) – на 10–20 %. За умов використання ГД кількість міді в зерні зменшилася, що може бути викликано відповідним підвищенням урожайності та у цьому варіанті відомим "ефектом розбавлення".

Потреба рослин у марганці (Mn) задовольняється сірим лісовим ґрунтом за умов pH_{KCl} 5,0–5,2 повністю, що зумовило нагромадження згаданого елемента в гранично допустимих концентраціях (табл. 3). Вміст цинку в зерні пшениці озимої в контрольному варіанті становив 10,1–11,4 мг/кг, а додавання мінеральних добрив на фоні соломи бобових підвищило його рівень на 2,8–3,7 %. Обробка додатково рослин біостимулятором незначно підвищила вміст вказаного елемента порівняно з варіантом 3. Однак внесення ХД на рослини пшениці забезпечило більш вагоме зростання Zn у врожаї: 0,8–1,5 мг/кг. Значною мірою це може бути обумовлено достатнім вмістом цинку у хелатному добриві (5,9 % від загальної кількості).

Ми спостерігали менший вміст мікроелементів у зерні пшениці після соломи гороху щодо варіантів блоку II, скомпенованого на фоні соломи кормових

бобів. Це може бути викликано відповідним підвищенням урожайності у блоці I і відомим "ефектом розбавлення", а також підвищеним вмістом основних мікроелементів у соломі кормових бобів.

Висновки. В умовах достатнього зволоження Лісостепу Західного на сірому лісовому поверхнево оглеєному середньосуглинковому ґрунті у польовому досліді з вивчення впливу БСУ вміст хлорофілів ($a + b$) та чиста продуктивність фотосинтезу зростали від фази весняного кушення пшениці озимої до колосіння – цвітіння: від 1,62–1,58 мг/г до 2,55–3,74 та 1,96–4,90 до 3,27–9,54 г/м² за добу. Від фази молочно-воскової стиглості спостерігали відчутне зниження цих показників.

Найвагоміший вплив на хлорофілізацію асиміляційного апарату та показник чистої продуктивності фотосинтезу чинили БСУ з використанням БС та ГД або внесення ХД на фоні заорювання соломи бобових + $N_{90}P_{60}K_{60}$. Суми хлорофілів ($a + b$) відповідно становили 3,72–3,74 та 3,63–3,75 мг/г, а чиста продуктивність фотосинтезу – 8,86–9,54 г/м² за добу.

Найкращі показники елементів структури врожаю пшениці озимої були сформовані рослинами за використання біологізованих систем удобрення у складі: солома бобових (горох або кормові боби) на фоні $N_{90}P_{60}K_{60}$ з додаванням біостимулятора та гумусного препарату або хелатного добрива, що забезпечувало врожай 5,59–5,87 т/га.

БСУ сприяли вагомому збільшенню вмісту мікроелементів у зерні пшениці озимої: заліза – в межах 22,6–24,5, міді – 4,8–5,8, марганцю – 13,9–15,8 та цинку 14,3–14,8 мг/кг. Менші рівні асиміляції мікроелементів були за умови використання ГД у складі БСУ. Гранично допустимі концентрації мікроелементів не виявлено за всіх видів БСУ. Зазначено тенденцію підвищення вмісту мікроелементів у зерні пшениці у блоці II – після кормових бобів.

Список використаної літератури

1. Агроекологічні та економічні аспекти вирощування озимої пшениці в умовах Південного Степу України / Л. В. Андрійченко та ін. *Наукові праці. Екологія*. 2010. Т. 132, вип. 119. С. 41–44. URL: <http://ecology.chdu.edu.ua/article/view/64833> (дата звернення: 26.03.2025).

2. Вміст фотосинтетичних пігментів у листках гречки за дії біологічних препаратів / В. П. Карпенко та ін. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Біологія*. 2021. Т. 81, № 1-2. С. 83–89. DOI: <https://doi.org/10.25128/2078-2357.21.1-2.11>.

3. Вплив передпосівного оброблення насіння різнокомпонентними протруйниками на стан пігментного комплексу пшениці озимої в умовах Південного Степу України / Ю. О. Кліпакова та ін. *Агробіологія*. 2021. № 1. С. 59–67. DOI: <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2021-163-1-59-67>.

4. Вплив позакореневої обробки рослин пшениці озимої комплексом мікроелементів, отриманим за допомогою нанотехнологій, на їх фотосинтетичну активність за різних умов вологозабезпечення / О. О. Стасик та ін. *Фізіологія рослин і генетика*. 2020. Т. 52, № 1. С. 46–63. DOI: <https://doi.org/10.15407/frg2020.01.046>.

5. Ефективність застосування нових мікроелементних комплексів при вирощуванні пшениці озимої / О. Є. Давидова та ін. *Фізіологія рослин і генетика*. 2015. Т. 47, № 3. С. 213–223. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/232903725.pdf> (дата звернення: 28.03.2025).

6. Зв'язок вмісту хлорофілу в листках і хлорофільного індексу посівів озимої пшениці в період наливання зерна з урожайністю / Г. О. Прядкіна та ін. *Фізіологія рослин і генетика*. 2015. Т. 47, № 2. С. 167–174. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/159495/07-Priadkina.pdf?sequence=1> (дата звернення: 30.03.2025).

7. Зубець М. В., Медведєв В. В., Балюк С. А. Розвиток і наукове забезпечення органічного землеробства в європейських країнах. *Вісник аграрної науки*. 2010. № 10. С. 5–8. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/vaan_2010_10_3.pdf (дата звернення: 25.03.2025).

8. Кліпакова Ю. О., Білоусова З. В., Кенєва В. А. Вплив строків та способу внесення добрив на формування продуктивності рослин пшениці озимої. *Таврійський науковий вісник*. 2021. № 120. С. 53–60. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.120.8>.

9. Козак В., Пида С. Вплив мікробних препаратів та фунгіцидів на накопичення фотосинтетичних пігментів у листках сочевиці харчової (*Lens culinaris* Medik.). Збірник матеріалів II Міжнар. наук. конф. «Бессерівські природознавчі студії» (Кременець, 24–

References

1. Agroecological and economic aspects of winter wheat cultivation in the conditions of the Southern Steppe of Ukraine / L. V. Andriichenko et al. *Naukovi pratsi. Ekolohiia*. 2010. Vol. 132, iss. 119. P. 41–44. URL: <http://ecology.chdu.edu.ua/article/view/64833> (access date: 26.03.2025).

2. The content of photosynthetic pigments in buckwheat leaves under the influence of biological preparations / V. P. Karpenko et al. *Naukovi zapysky Ternopilskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka. Serii: Biolohiia*. 2021. Vol. 81, no. 1-2. P. 83–89. DOI: <https://doi.org/10.25128/2078-2357.21.1-2.11>.

3. The influence of pre-sowing seed treatment with multi-component seed dressings on the state of the pigment complex of winter wheat in the conditions of the Southern Steppe of Ukraine / Yu. O. Klipakova et al. *Ahrobiolohiia*. 2021. No. 1. P. 59–67. DOI: <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2021-163-1-59-67>.

4. Effect of foliar treatment with microelement complex, obtained by nanotechnology, on the photosynthetic activity of winter wheat plants under different moisture conditions / O. O. Stasyk et al. *Fiziolohiia roslyn i henetyka*. 2020. Vol. 52, no. 1. P. 46–63. DOI: <https://doi.org/10.15407/frg2020.01.046>.

5. Effectiveness of new microelement complexes at winter wheat cultivation / O. Ye. Davydova et al. *Fiziologija rastenij i genetika*. 2015. Vol. 47, no. 3. P. 213–223. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/232903725.pdf> (access date: 28.03.2025).

6. Relationships between leaves and canopy chlorophyll contents at grain filling and productivity of winter wheat / H. O. Priadkina et al. *Fiziologija rastenij i genetika*. 2015. Vol. 47, no. 2. P. 167–174. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/159495/07-Priadkina.pdf?sequence=1> (access date: 30.03.2025).

7. Zubets M. V., Medvediev V. V., Baliuk S. A. Development and scientific support of organic farming in European countries. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 2010. No. 10. P. 5–8. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/vaan_2010_10_3.pdf (access date: 25.03.2025).

8. Klipakova Yu. O., Bilousova Z. V., Kenieva V. A. The influence of dates and methods of fertilizer application on the formation of winter wheat plants productivity. *Tavriyskyi naukovyi visnyk*. 2021. No. 120. P. 53–60. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.120.8>.

9. Kozak V., Pyda S. The effect of microbial preparations and fungicides on the accumulation of photosynthetic pigments in the leaves of edible lentils (*Lens culinaris* Medik.). Zbirnyk materialiv II Mizhnar. nauk. konf. "Besserivski pryrodnavchi studii"

25 верес. 2024 р.). Кременець : КОГПА ім. Тараса Шевченка, 2024. Вип. II. С. 113–117. URL: https://kogpa.edu.ua/images/main_dir/kaf_bio/nauka/bess.pdf#page=113 (дата звернення: 24.03.2025).

10. Кудрявицька А. М. Вплив тривалого застосування добрив на продуктивність фотосинтезу та врожайність пшениці ярої. *Вісник аграрної науки*. 2016. № 4. С. 24–27. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201604-06>.

11. Мазуренко Б. О., Новицька Н. В. Накопичення абсолютно сухої речовини та чиста продуктивність фотосинтезу посівів тритикале за пізніх осінніх строків сівби та підживлень азотом. *Таврійський науковий вісник*. 2020. № 111. С. 105–111. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.111.14>.

12. Марченко К. Ю. Вміст хлорофілу та чиста продуктивність фотосинтезу вівса голозерного за дії біологічних препаратів. *Зрошуване землеробство : міжвід. темат. наук. зб.* 2022. Вип. 77. С. 62–67. DOI: <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2022.77.14>.

13. Михальська Л. М., Санін О. Ю., Третяков В. О. Вплив елементів живлення та фунгіцидів на вміст хлорофілу в листках високопродуктивних сортів пшениці озимої. *Фізіологія рослин і генетика*. 2020. Т. 52, № 6. С. 538–549. DOI: <https://doi.org/10.15407/frg2020.06.538>.

14. Особливості фотосинтезу і продукційного процесу у високоінтенсивних генотипів озимої пшениці / Д. А. Кірізій та ін. Київ : Основа, 2011. 415 с.

15. Поліщук П. Вміст хлорофілів і каротиноїдів у листках злакових і бобових рослин. Матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. здобувачів вищої освіти "Молодь – аграрній науці і виробництву. Новітні технології виробництва та переробки продукції тваринництва, харчові технології" (Біла Церква, 14 квіт. 2023 р.). Біла Церква : БНАУ, 2023. С. 56–57. URL: https://science.btsau.edu.ua/sites/default/files/tezy/tezy_stud_btf_14.04.23.pdf#page=56 (дата звернення: 24.03.2025).

16. Потужність розвитку фотосинтетичного апарату та врожайність рослин озимої пшениці за дії бензиламінопурину та перексиду водню / Н. Ю. Таран та ін. *Фізіологія рослин і генетика*. 2014. Т. 46, № 5. С. 413–419. URL: http://jnas.nbu.gov.ua/j-pdf/FBKR_2014_45_5_7.pdf (дата звернення: 30.03.2025).

17. Прядкіна Г. О., Махаринська Н. М. Асиміляційний апарат листків окремих ярусів у сортів озимої пшениці за несприятливих умов навколишнього середовища. *Фізіологія рослин і генетика*. 2021. Т. 53, № 1. С. 74–86. DOI: <https://doi.org/10.15407/frg2021.01.74>.

18. Прядкіна Г. О., Швартау В. В., Михальська Л. М. Потужність фотосинтетичного апарату, зернова продуктивність та якість зерна інтенсивних сортів м'якої озимої пшениці за різного

(Kremenets, 24–25 veres. 2024 r.). Kremenets: KOHPA im. Tarasa Shevchenka, 2024. Issue II. P. 113–117. URL: https://kogpa.edu.ua/images/main_dir/kaf_bio/nauka/bess.pdf#page=113 (access date: 24.03.2025).

10. Kudriavitska A. M. The effect of long-term application of fertilizers on the productivity of photosynthesis and yield of spring wheat. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 2016. No. 4. P. 24–27. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201604-06>.

11. Mazurenko B. O., Novytska N. V. Dry matter accumulation and triticale photosynthesis efficiency in dependence on late autumn sowing terms and nitrogen fertilizing. *Tavriiskyi naukovyi visnyk*. 2020. No. 111. P. 105–111. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.111.14>.

12. Marchenko K. Yu. Chlorophyll content and net productivity of photosynthesis of naked oats under the influence of biological preparations. *Zroshuvane zemlerobstvo: mizhvid. temat. nauk. zb.* 2022. Iss. 77. P. 62–67. DOI: <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2022.77.14>.

13. Mykhalska L. M., Sanin O. Yu., Tretiakov V. O. Influence of nutritional elements and fungicides on chlorophyll content in leaves of highly productive winter wheat varieties. *Fiziologhiia roslyn i henetyka*. 2020. Vol. 52, no. 6. P. 538–549. DOI: <https://doi.org/10.15407/frg2020.06.538>.

14. Features of photosynthesis and production process in high-intensity genotypes of winter wheat / D. A. Kirizii et al. Kyiv: Osnova, 2011. 415 p.

15. Polishchuk P. Content of chlorophylls and carotenoids in the leaves of cereal and leguminous plants. Materialy Vseukr. nauk.-prakt. konf. zdobuvachiv vyshchoi osvity "Molod – ahrarnii nausti i vyrobnytstvu. Novitni tekhnologii vyrobnytstva ta pererobky produktii tvarynnystva, kharchovi tekhnologii" (Bila Tserkva, 14 kvit. 2023 r.). Bila Tserkva: BNAU, 2023. P. 56–57. URL: https://science.btsau.edu.ua/sites/default/files/tezy/tezy_stud_btf_14.04.23.pdf#page=56 (access date: 24.03.2025).

16. Photosynthetic apparatus power development and yield of winter wheat plants under the effect of benzylaminopurine and hydrogen peroxide / N. Yu. Taran et al. *Fiziologija rastenij i genetika*. 2014. Vol. 46, no. 5. P. 413–419. URL: http://jnas.nbu.gov.ua/j-pdf/FBKR_2014_45_5_7.pdf (access date: 30.03.2025).

17. Priadkina H. O., Makharynska N. M. Assimilation apparatus of different leaves tiers in winter wheat varieties under adverse environmental conditions. *Fiziologhiia roslyn i henetyka*. 2021. Vol. 53, no. 1. P. 74–86. DOI: <https://doi.org/10.15407/frg2021.01.74>.

18. Priadkina H. O., Shvartau V. V., Mykhalska L. M. The capacity of photosynthetic apparatus, grain productivity and its quality of intensive varieties of winter wheat at different levels of mineral nutrition. *Fiziologija i biohimija kul'turnyh rastenij*.

рівня мінерального живлення. *Физиология и биохимия культурных растений*. 2011. Т. 43, № 2. С. 158–163. URL: <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/66363/09-Pryadkina.pdf?sequence=3> (дата звернення: 25.03.2025).

19. Рябовол Л. О., Рябовол Я. С., Федоренко С. В. Особливості фотосинтезу різних за морфотипами створених зразків пшениці м'якої озимої. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*. 2024. Вип. 105, ч. 1. С. 231–237. DOI: <https://doi.org/10.32782/2415-8240-2024-105-1-231-237>.

20. Сметанко О. В., Бурикна С. І., Кривенко А. І. Вплив елементів біологізації вирощування пшениці озимої на різних фонах мінерального живлення в умовах Південного Степу України. *Вісник аграрної науки*. 2018. № 8 (785). С. 33–37. DOI: <https://doi.org/10.31073/agroviznyk201808-05>.

21. 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. URL: http://www.irbis-nbu.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbu/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/FBKR_2015_47_4_8.pdf (дата звернення: 30.03.2025).

22. Старчевський Ю. І., Старчевський І. П. До питання практичної реалізації в Одеській області світової стратегії екологізації сільського господарства на засадах комплексної біологізації землеробства. *Вісник аграрної науки Південного регіону : міжвід. темат. наук. зб. С.-г. та біологічні науки*. 2008. Вип. 9, ч. 1. С. 23–33.

23. Стасик О. О., Кірізії Д. А., Прядкіна Г. О. Фотосинтез і продуктивність: основні наукові досягнення та інноваційні розробки. *Фізіологія рослин і генетика*. 2021. Т. 53, № 2. С. 160–184. DOI: <https://doi.org/10.15407/frg2021.02.160>.

24. Тодосійчук О. В. Вміст хлорофілу й чиста продуктивність фотосинтезу чини посівної за дії біологічних препаратів. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2024. № 2. С. 7–12. DOI: <https://doi.org/10.32782/2310-0478-2024-2-7-12>.

25. Hashem L. F., Al-Issawi M. H. Chlorophyll content variation in wheat genotypes planted in semi-arid region. IOP Conference Series: "Earth and Environmental Science". V. 1252, no. 1. International Collaborative Conference of Modern Agricultural Technologies (Erbil, Iraq, 03.05.2023 – 04.05.2023). Published online (<https://iopscience.iop.org/issue/1755-1315/1252/1>) 20 December 2023. P. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1252/1/012025>.

2011. Vol. 43, no. 2. P. 158–163. URL: <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/66363/09-Pryadkina.pdf?sequence=3> (access date: 25.03.2025).

19. Riabovol L. O., Riabovol Ya. S., Fedorenko S. V. Features of photosynthesis of different morphotypes of soft winter wheat samples. *Zbirnyk naukovykh prats Uman'skoho natsionalnoho universytetu sadivnytstva*. 2024. Iss. 105, pt. 1. P. 231–237. DOI: <https://doi.org/10.32782/2415-8240-2024-105-1-231-237>.

20. Smetanko O. V., Burykina S. I., Kryvenko A. I. Influence of elements of biologization of cultivation of winter wheat on different backgrounds of mineral nutrition in conditions of South Steppe of Ukraine. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 2018. No. 8 (785). P. 33–37. DOI: <https://doi.org/10.31073/agroviznyk201808-05>.

21. Sokolovska-Serhiienko O. H., Priadkina H. O., Kapitanska O. S. Activity of photosynthetic apparatus and productivity in winter wheat treated by chelated microfertilizer and growth stimulator. *Fiziologija rastenij i genetika*. 2015. Vol. 47, no. 4. P. 321–329. URL: http://www.irbis-nbu.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbu/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/FBKR_2015_47_4_8.pdf (access date: 30.03.2025).

22. Starchevskiy Yu. I., Starchevskiy I. P. On the issue of practical implementation in the Odessa region of the world strategy of greening agriculture based on the complex biologization of agriculture. *Visnyk ahrarnoi nauky Pivdennoho rehionu: mizhvid. temat. nauk. zb. S.-h. ta biolohichni nauky*. 2008. Iss. 9, pt. 1. P. 23–33.

23. Stasyk O. O., Kirizii D. A., Priadkina H. O. Photosynthesis and productivity: main scientific achievements and innovative developments. *Fiziologhiia roslyn i henetyka*. 2021. Vol. 53, no. 2. P. 160–184. DOI: <https://doi.org/10.15407/frg2021.02.160>.

24. Todosiichuk O. V. Chlorophyll content and net photosynthetic productivity of sowing grasspea under the influence of biological preparations. *Visnyk Uman'skoho natsionalnoho universytetu sadivnytstva*. 2024. No. 2. P. 7–12. DOI: <https://doi.org/10.32782/2310-0478-2024-2-7-12>.

25. Hashem L. F., Al-Issawi M. H. Chlorophyll content variation in wheat genotypes planted in semi-arid region. IOP Conference Series: "Earth and Environmental Science". Vol. 1252, no. 1. International Collaborative Conference of Modern Agricultural Technologies (Erbil, Iraq, 03.05.2023 – 04.05.2023). Published online 20 December 2023. P. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1252/1/012025>.

26. Identification and validation of quantitative trait loci for chlorophyll content of flag leaf in wheat under different phosphorus treatments / B. Yang et al. *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 13. Article number 1019012. P. 1–16. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1019012>.

26. Identification and validation of quantitative trait loci for chlorophyll content of flag leaf in wheat under different phosphorus treatments / B. Yang et al. *Frontiers in Plant Science*. 2022. V. 13. Article number 1019012. P. 1–16. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1019012>.

27. Mapping QTLs for chlorophyll content and chlorophyll fluorescence in wheat under heat stress / N. Bhusal et al. *Biologia Plantarum*. 2018. V. 62, no. 4. P. 721–731. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10535-018-0811-6>.

28. New alleles for chlorophyll content and stay-green traits revealed by a genome wide association study in rice (*Oryza sativa*) / Y. Zhao et al. *Scientific Reports*. 2019. V. 9, no. 1. Article number 2541. P. 1–11. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-39280-5>.

29. Said A. A., Moursi Y. S., Sallam A. Association mapping and candidate genes for physiological non-destructive traits: Chlorophyll content, canopy temperature, and specific leaf area under normal and saline conditions in wheat. *Frontiers in Genetics*. 2022. V. 13. Article number 980319. P. 1–14. DOI: <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.980319>.

27. Mapping QTLs for chlorophyll content and chlorophyll fluorescence in wheat under heat stress / N. Bhusal et al. *Biologia Plantarum*. 2018. Vol. 62, no. 4. P. 721–731. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10535-018-0811-6>.

28. New alleles for chlorophyll content and stay-green traits revealed by a genome wide association study in rice (*Oryza sativa*) / Y. Zhao et al. *Scientific Reports*. 2019. Vol. 9, no. 1. Article number 2541. P. 1–11. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-39280-5>.

29. Said A. A., Moursi Y. S., Sallam A. Association mapping and candidate genes for physiological non-destructive traits: Chlorophyll content, canopy temperature, and specific leaf area under normal and saline conditions in wheat. *Frontiers in Genetics*. 2022. Vol. 13. Article number 980319. P. 1–14. DOI: <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.980319>.