

## ВПЛИВ СИСТЕМИ МІНЕРАЛЬНОГО ЖИВЛЕННЯ НА РОБОТУ ЛИСТОВОГО АПАРАТУ РОСЛИН ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ

**Білоусова Зоя Володимирівна**

кандидат сільськогосподарських наук, доцент

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, м. Запоріжжя, Україна

ORCID: 0000-0001-9687-7920

zoiazolotukhina@gmail.com

**Кеңса Вікторія Анатоліївна**

аспірантка

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, м. Запоріжжя, Україна

ORCID: 0000-0002-4890-651X

viktoriyakeneva@gmail.com

*Для забезпечення оптимального поживного режиму рослин пшениці озимої необхідно узгодити систему удобрення із біологічними особливостями культури. Даний агрозахід сприяє активному формуванню листової поверхні рослин, що в подальшому проявляється у формуванні високого врожаю із гарними показниками якості зерна. Метою дослідження було визначення ефективності застосування мінеральних добрив у якості припосівного внесення та позакореневого підживлення рослин пшениці озимої.*

*Дослідження проводилися із використанням припосівного внесення калійних добрив та позакореневого підживлення карбамідом (N), сульфатом магнію (Mg) та монофосфатом калію (Pk) для сорту пшениці озимої Шестопалівка в умовах Науково-навчального центру Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного.*

*Площа листової поверхні рослин пшениці озимої сорту Шестопалівка коливалася в межах 15,85–48,46 тис. м<sup>2</sup>/га залежно від фази розвитку та варіанту досліду і залежала від системи мінерального живлення. Найвищі значення вказаного показника на рівні 39,29–48,46 тис. м<sup>2</sup>/га були відмічені у фазу виходу в трубку. Найбільший приріст площі листової поверхні в середньому за період вегетації було відмічено при застосуванні повного комплексу добрив для позакореневого підживлення (N+Mg+Pk) на фоні припосівного внесення K<sub>12</sub>, який становив 14% порівняно з контролем.*

*Найвищі значення чистої продуктивності фотосинтезу на рівні 9,83–10,53 г/м<sup>2</sup> за добу для сорту Шестопалівка було відмічено у міжфазний період куціння-вихід в трубку. Встановлено, що припосівне внесення K<sub>12</sub> сприяло зростанню ЧПФ лише в міжфазний період вихід в трубку–колосіння – у 1,76 рази порівняно із варіантами без його внесення. В цілому більші значення показника ЧПФ було зафіксовано за використання припосівного внесення калійних добрив сумісно із позакореневим підживленням N+Mg+Pk – в середньому за період вегетації на 15% більше, порівняно із варіантом N+Mg+Pk на фоні K<sub>0</sub>.*

*Таким чином, внесення досліджуваних мінеральних добрив сприяло активному росту рослин пшениці озимої та розвитку їх листової поверхні, що забезпечило стабільну роботу фотосинтетичного апарату і в подальшому вплинуло на формування продуктивності посівів.*

**Ключові слова:** площа листової поверхні, чиста продуктивність фотосинтезу, припосівне внесення добрив, позакореневе підживлення.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.3.2>

**Вступ.** Внесення мінеральних добрив є потужним засобом підвищення врожайності сільськогосподарських культур (Групух, 2019). За допомогою мінерального живлення відбувається регулювання росту та розвитку рослин для подальшого формування високого врожаю доброї якості. За рахунок тривалого використання добрив зберігається родючість ґрунту, рослини оптимальніше забезпечуються елементами живлення. Таким чином відбувається інтенсивний ріст рослин, накопичення біомаси, що призводить до збільшення врожайності та покращення якості продукції (Dzanagov et al., 2019). Формування оптимального поживного режиму рослин є одним із найважливіших елементів технології вирощування пшениці озимої. За результатами досліджень (Hospodarenko et al., 2021) тривале внесення мінеральних добрив сприяло підвищенню врожайності пшениці озимої на 3,68 т/га.

Основа положення сучасної теорії фотосинтетичної продуктивності полягає в тому, що врожай рослин насамперед залежить від сумарної фотосинтетичної продукції. Вона визначається не тільки інтенсивністю фотосинтезу, але й розмірами листя та тривалістю їх роботи (Ionova et al., 2020). Фотосинтез, як і дихання є основними детермінантами вуглецевого балансу та росту рослин пшениці, і обидва чутливі до високої температури (Posch et al., 2019). Оптимальний поживний режим здатен підсилювати фотосинтетичну діяльність рослин, сприяти одержанню високих і якісних врожаїв, значною мірою підвищувати економічну та енергетичну ефективність галузі рослинництва (Vozhehova & Serhieiev, 2018). Оптимізація роботи фотосинтетичного апарату може збільшити зернову продуктивність на 10–60 % (Lobunskaja et al., 2021).

Розмір листового апарату залежить від агротехнічних, кліматичних і біологічних факторів. Важливо для отримання високого врожаю зберегти більшу частину листової поверхні протягом усього періоду вегетації рослин. Висока асиміляційна здатність підвищує процес цвітіння і зростання кількості зерен у колосі.

Підживлення значно впливає на протікання процесу фотосинтезу та розмір листової поверхні (Voznesenskaja & Mozharova, 2021). В останні роки проведення позакореневого підживлення рослин набуло достатнього поширення, передусім, за рахунок високої економічної рентабельності. При обробці рослин механізм поглинання речовин суттєво не відрізняється від поглинання їх кореневою системою. Водні розчини проникають у листок через його продихи та багатощарову кутикулу (Намаїунова et al., 2017). Тому позакореневе внесення добрив все частіше використовується в сільськогосподарській практиці для отримання максимального врожаю пшениці озимої. Внесення добрив через листя важливе доповнення до елементів живлення, які внесені в ґрунт. З його допомогою можна ефективно усунути дефіцит поживних речовин і використовувати як основний метод забезпечення рослин необхідними мікроелементами (Janowski et al., 2016).

Врожайність сільськогосподарських культур в значній мірі залежить від наявності і доступності, в першу чергу, азоту в ґрунті. Для отримання максимального врожаю він повинен бути доступним в критичні періоди розвитку рослин (Grzebisz, 2013). Результати досліджень проведених Noor H. зі співробітниками (Noor, et al. 2021) свідчать, що азот покращує фотосинтетичні характеристики прапорцевого листка та вміст азоту в рослинах і тим самим забезпечує високий урожай культури в посушливих умовах.

Високий фон мінерального живлення та проведення позакореневої обробки карбамідом мають позитивний вплив на функціонування фотосинтетичного апарату, продуктивність і якість зерна пшениці озимої (Shegeda et al., 2018). Разом з тим, позакореневе живлення пшениці озимої карбамідом з одного боку виступає як своєрідний стрес для рослин, з іншого – як чинник, що стимулює запуск захисних механізмів, зокрема й активацію роботи антиоксидантних ферментів (Mamenko et al., 2017). Існує інформація, що застосуванні магнію сумісно із азотними добривами підвищує ефективність фотосинтезу за рахунок послаблення їх стресового впливу, що сприяє підвищенню врожайності та збільшенню маси зерна (Ba et al., 2020).

Фосфор та калій важливі елементи живлення, які суттєво впливають на масу зерна і врожайність пшениці озимої. Ефективне використання фосфорних добрив може продовжити термін служби запасів фосфору в ґрунті, а також знизити екологічний ризик, пов'язаний з надмірним внесенням фосфорних добрив у всьому світі (Dhillon et al., 2017).

У природних умовах аніони фосфорної кислоти є головним джерелом фосфору для рослин. Монокалій фосфат це поширене мінеральне водорозчинне добриво, яке застосовують для позакореневого та коре-

невого підживлення і фертигації. Воно містить фосфорнокислі солі одновалентних катіонів, які є цінним джерелом фосфору для сільськогосподарських культур. Застосування фосфатів дає позитивний вплив на урожай зерна, збільшуючи масу сухої речовини надземної частини рослин. Позакореневе застосування фосфору впливає на врожайність зерна пшениці, виробництво сухої речовини після цвітіння пагонів та збільшує поглинання фосфору після цвітіння (Zambrosi, 2019).

За результатами досліджень Ковалишина та Шевченко (Kovalyshyn & Shevchenko, 2020), проведення позакореневого підживлення фосфоромісними добривами призводить до збереження активності фотосинтетичного апарату й уповільненню процесів його старіння в ході репродуктивного розвитку рослин пшениці озимої.

Врожайність пшениці озимої зазвичай підвищується за рахунок застосування трьох (N + P + K) або чотирьох (N + P + K + S) поживних речовин у комбінації (Duncan et al., 2018). Maria Mussarat, Muhammad Shair стверджують, що дефіцит азоту і фосфору є основним фактором, що обмежує урожай. Правильне керування ними відіграє важливу роль в оптимізації врожайності (Maria Mussarat et al., 2021). Адже сумісне застосування азотно-фосфорних добрив під передпосівну культивування та у позакореневу обробку оптимізує формування площі листової поверхні рослин пшениці озимої та її тривале активне функціонування (Panfilova & Namaiunova, 2018).

Азотно-фосфорно-калійні добрива мають високу ефективність комплексного застосування для позакореневої обробки рослин пшениці озимої в стадії ВВСН 31 як на фоні припосівного внесення калійних добрив, так і без нього (Bilousova et al., 2021).

Внесення калію та фосфору через листя в основному використовується для вирощування пшениці в посушливих районах (Xiaokang et al., 2017). Також з'ясовано (Wang et al., 2020), що продуктивність сухої речовини та врожайність зерна досягали максимальних значень при додатковому внесенні калію. Калій є другою найбільш поширеною поживною речовиною у фотосинтетичних процесах рослин після азоту. Поглинання калію в умовах посухи відіграє все більш важливу роль у визначенні функції та виживання рослинних угруповань (Sardans & Peñuelas, 2015).

Отже застосування добрив значно впливає на функціонування листової поверхні рослин пшениці озимої. Вони сприяють активному поглинанню фотосинтетичної активної радіації посівами пшениці озимої, але досягти їх максимального ефекту можливо лише в поєднанні з іншими агротехнологічними заходами (Vozhehova & Serhieiev, 2018).

Метою нашого дослідження було визначення ефективності застосування мінеральних добрив у якості припосівного внесення та позакореневого підживлення рослин пшениці озимої сорту Шестопапівка.

**Матеріали і методи досліджень.** Дослідження проводилися впродовж 2018-2021 рр. в умовах Науково-навчального центру і лабораторії моніторингу якості ґрунтів та продукції рослинництва Таврійського дер-

жавного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного.

Схема досліду включала наступні варіанти:

Фактор А – припосівне внесення калійних добрив: 1.  $K_0$  + фон  $N_{16}P_{20}S_{15}$ ; 2.  $K_{12}$  + фон  $N_{16}P_{20}S_{15}$ . У якості калійного добрива було використано сульфат калію.  $N_{16}P_{20}S_{15}$  було внесено у вигляді суперфосфату амонізованого.

Фактор В – позакореневе підживлення рослин у фазу початку виходу в трубку: 1. контроль – карбамід (N); 2. карбамід + сульфат магнію (N+Mg); 3. карбамід + сульфат магнію + монофосфат калію (N+Mg+PK). Норма витрати карбаміду – 10 кг/га, сульфату магнію – 2 кг/га, монофосфату калію – 1 кг/га.

Площу листового апарату було визначено методом висічок (Hrytsaienko et al., 2003). З 10 повноцінно розвинених для конкретної фази рослин зривали цілі листочки і зважували. Потім за допомогою коркового свердла (металевої трубки із загостреними кінцями) брали з листків по 50 висічок та зважували. Загальну листову площу листя у пробі визначали за формулою:

$$P = \frac{Mnk}{m}$$

де P – загальна площа листя у пробі,  $cm^2$ ;

M – маса листя в пробі, г;

n – площа однієї висічки,  $cm^2$ ;

k – кількість висічок, шт;

m – маса висічок, г.

Для отримання чистої продуктивності фотосинтезу визначали загальну масу рослин, окремих органів та площу листя. Розраховували даний показник за формулою (Nichiporovich, 1969):

$$ЧПФ = \frac{B_2 - B_1}{0,5(L_1 + L_2) \cdot n}$$

де, ЧПФ – чиста продуктивність фотосинтезу,  $г/см^2$  за добу;

$B_1$  і  $B_2$  – маса сухої речовини рослин на початку і в кінці облікового періоду, г;

$(B_2 - B_1)$  – приріст маси сухої речовини за n днів, г;

$L_1$  і  $L_2$  – площа листків на початку і в кінці облікового періоду,  $m^2$ ;

0,5 ( $L_1 + L_2$ ) – середня робоча площа листової поверхні за час досліду;

n – період між двома спостереженнями, днів.

Отримані дані обчислювали статистично за допомогою програм Microsoft Excel та Agrostat new (Hrytsaienko et al., 2003).

**Результати.** Раціональна система удобрення сільськогосподарських культур сприяє активному розвитку листової поверхні рослин, що позитивно впливає на процес проходження фотосинтезу та в подальшому на нагромадження сухих речовин, а відповідно і на зростання врожайності в цілому. Важливим етапом в загальній системі удобрення пшениці озимої є внесення добрив на початку відновлення весняної вегетації для забезпечення базових потреб рослин на даному етапі розвитку (Klipakova et al., 2021), адже саме в цей період починається закладка репродуктивних органів (Kalenska et al., 2015). Таке внесення добрив забезпечує формування оптимальної площі листової поверхні та тривалість її активного функціонування протягом усього весняного періоду вегетації (Panfilova & Namaiunova, 2018).

Результати проведених досліджень показують, що внесення добрив як при посіві, так і для позакореневого підживлення рослин сприяли зростанню площі листової поверхні протягом усього періоду вегетації (табл. 1).

Застосування калійних добрив при посіві пшениці озимої сприяло зростанню площі листової поверхні, починаючи з фази виходу в трубку, на 9-12% залежно від фази розвитку рослин, порівняно із варіантами без його застосування.

Характер впливу позакореневого підживлення пшениці озимої у фазу початку виходу в трубку залежав від припосівного внесення добрив. Додавання до бакової

Таблиця 1

**Динаміка формування площі листової поверхні залежно від досліджуваного фактору в середньому за 2018–2021 рр., тис.  $m^2$  /га**

Припосівне внесення добрив (фактор А)	Позакореневе підживлення (фактор В)	Площа листової поверхні в фазу розвитку			
		кущіння	вихід в трубку	колосіння	молочна стиглість
$K_0$	N (контроль)	20,32±0,53	39,29±0,80	38,87±0,73	15,85±0,72
	N + Mg	23,08±0,37	41,99±0,82	40,39±0,71	16,58±0,79
	N + Mg + PK	22,89±0,45	43,74±0,75	42,05±0,77	16,74±0,66
Середнє по фактору А		22,10	41,67	40,44	16,39
$K_{12}$	N (контроль)	19,80±0,53	44,10±0,77	40,54±0,83	16,89±0,73
	N + Mg	22,66±0,50	47,34±0,69	45,13±0,64	18,32±0,88
	N + Mg + PK	24,47±0,46	48,46±0,71	46,00±0,72	18,86±0,75
Середнє по фактору А		22,31	46,63	43,89	18,02
Середнє по фактору В	N (контроль)	20,06	41,70	39,71	16,37
	N + Mg	22,87	44,67	42,76	17,45
	N + Mg + PK	23,68	46,10	44,03	17,80
НІР <sub>05</sub> для:	фактора А	0,16	0,12	0,11	0,14
	фактора В	0,14	0,11	0,10	0,12

суміші для обробки рослин сульфату магнію як окремо (N + Mg), так і в комплексі з монофосфатом калію (N + Mg + PK) на фоні внесення азотного добрива сприяло зростанню площі листової поверхні на 4–14% без припосівного внесення калійних добрив та на 7–24% із його застосуванням, порівняно із контрольним варіантом. Тобто ефективність позакореневого підживлення на формування площі листової поверхні рослинами пшениці озимої в значній мірі залежить від забезпечення оптимальних умов живлення на початкових етапах росту і розвитку рослин.

Статистична обробка проведених досліджень показала, що на формування площі листової поверхні рослинами пшениці озимої значний вплив мало як припосівне внесення добрив (39,8 %), так і позакореневе підживлення рослин (51,2 %).

Чиста продуктивність фотосинтезу – інтегральний показник, за допомогою якого можна оцінити загальну продуктивність посіву. Це один із важливих елементів, який характеризує потенційні можливості рослин щодо формування врожайності та залежить від площі асиміляційної поверхні, тривалості вегетації та доступності певних факторів життя (Mazurenko & Novytska, 2020).

Важлива особливість фотосинтетичної діяльності рослин є здатність накопичувати органічну речовину за рахунок високої продуктивності фотосинтезу (Panfilova & Namiunova, 2018).

Як показують результати проведених досліджень, величина чистої продуктивності фотосинтезу (ЧПФ) в значній мірі залежала від системи удобрення досліджуваної культури (табл. 2).

Застосування припосівного внесення калійних добрив мало позитивний ефект на величину ЧПФ лише у міжфазний період вихід в трубку – колосіння, що проявилось у зростанні вказаного показника у 1,76 рази порівняно із варіантами без його внесення.

Позакоренева обробка рослин пшениці озимої сприяла зростанню величини ЧПФ в міжфазні періоди куціння – вихід у трубку та колосіння – молочна стиглість як на фоні внесення калійних добрив при посіві, так і без

такого агрозаходу. Так, значення ЧПФ у вказані періоди за використання сульфату магнію сумісно з карбамідом для обробки рослин зростало на 3–4% на фоні  $K_0$  та на 2% на фоні  $K_{12}$  порівняно з контролем. Додавання до бакової суміші монофосфату калію сприяло подальшому зростанню ЧПФ на 4–6% на фоні  $K_0$  та на 3–5% на фоні  $K_{12}$  порівняно з контролем.

Статистична обробка проведених досліджень підтверджує отримані результати. Так, найбільшу частку впливу на величину ЧПФ мало припосівне внесення калійних добрив (93,2 %), в той час як вплив позакореневої обробки та сумісної дії досліджуваних факторів на вказаний процес був на рівні лише 1,0 %.

**Обговорення.** Загальновідомо, що площа листової поверхні та ефективність її функціонування в значній мірі впливають на величину врожайності пшениці озимої (Lyfenko et al., 2021). Як показано вище, система удобрення пшениці озимої, яка була використана у досліді, мала позитивний вплив, як на формування площі листової поверхні рослин, так і загальну продуктивність посівів. Отримані нами дані досить добре підтверджуються результатами інших досліджень. Так, у досліді групи вчених (Hospodarenko, 2020) визначено, що величина площі листової поверхні змінювалася залежно від доз мінеральних добрив і у початковий період вегетації збільшувалась в 1,2–1,4 рази порівняно із неудобреним фоном. Аналогічні результати були отримані в інших дослідженнях, проведених в умовах Півдня України (Vozhehova & Serhieiev, 2018). Так, суттєве збільшення площі листової поверхні відмічалось у варіантах, де було поєднано осіннє внесення добрив із підживленням пшениці озимої у період весняної вегетації. Порівняно з контролем досліджуваний показник підвищився відповідно на 24,2 та 30,1 тис м<sup>2</sup>/га або на 53,1–58,5 %.

Навіть невелика доза калію ( $K_{12}$ ), внесена при посіві пшениці озимої, за умови забезпечення іншими макроелементами ( $N_{16}P_{20}$ ) здатна впливати на розвиток асимілюючої поверхні. Аналогічні дані були отримані при застосуванні комбінації  $N_{16}P_{16}K_{16}$  при посіві (Namiunova & Smirnova, 2015), які підтверджують, що на накопичення

Таблиця 2

Чиста продуктивність фотосинтезу в середньому за 2018–2021 рр., г/м<sup>2</sup> · добу

Припосівне внесення добрив (фактор А)	Позакореневе підживлення (фактор В)	Міжфазний період		
		куціння-вихід в трубку	вихід в трубку-колосіння	колосіння-молочна стиглість
$K_0$	N (контроль)	10,11±0,62	5,99±0,33	6,51±0,45
	N + Mg	10,53±0,57	5,33±0,43	6,68±0,34
	N + Mg + PK	10,50±0,53	5,85±0,45	6,92±0,35
Середнє по фактору А		10,38	5,72	6,70
$K_{12}$	N (контроль)	9,88±0,63	10,15±0,39	6,11±0,41
	N + Mg	9,83±0,41	10,39±0,49	6,21±0,52
	N + Mg + PK	10,33±0,45	9,69±0,54	6,27±0,46
Середнє по фактору А		10,01	10,08	6,20
Середнє по фактору В	N (контроль)	10,00	8,07	6,31
	N + Mg	10,18	7,86	6,45
	N + Mg + PK	10,42	7,77	6,60
НІР <sub>05</sub> для:	фактора А	0,11	0,09	0,12
	фактора В	0,21	0,13	0,10

площі листової поверхні та фотосинтетичну діяльність рослин пшениці озимої та в кінцевому підсумку на рівень урожайності зерна істотно впливають фони живлення, сформовані внесенням до сівби, і співвідношення мінеральних добрив.

Традиційно для позакореневого підживлення пшениці озимої використовується внесення азотних добрив, які здатні збільшити асиміляційну поверхню посіву. Так, існують дані, що проведення позакореневого підживлення азотним добривом у фазу початку трубкування дозою  $N_{60}$  дозволило збільшити площу листя до 43,2 тис  $m^2/га$  або на 24,8 % порівняно із неудобреним фоном (Polishchuk, 2020). Однак в посушливих умовах Півдня України внесення такої кількості діючої речовини азоту може призвести до пошкодження рослин внаслідок негативного впливу високих температур повітря під час внесення. Тому для посушливих умов доцільнішим є використання низьких доз азоту із сумісним внесенням сульфату магнію, що сприяє підвищенню ефективності процесу фотосинтезу, оскільки обидва елементи є основними компонентами хлорофілу (Klirakova et al., 2021).

Сумісне використання в системі удобрення культури припосівного внесення калійних добрив на фоні внесення  $N_{16}P_{20}$  та позакореневого підживлення у фазу початку виходу в трубку комплексом азотно-фосфорно-калійних добрив із додаванням сульфату магнію мало найвищу ефективність на зростання площі листової поверхні та чистої продуктивності фотосинтезу. Отримані дані дають підставу вважати, що внесення навіть невеликої

кількості діючої речовини кожного окремого елементу живлення при поєднанні їх у комплексну систему, сприяє зростанню їх симбіотичної взаємодії, що і проявляється у збільшенні продуктивності культури.

Отриманий нами ефект підвищення урожайності пшениці озимої за рахунок корегування системи живлення виявився дещо нижчим ефекту від застосування комплексних водорозчинних добрив для позакореневого підживлення сумісно із фоновим внесенням класичних макродобрив (Bordiuzha, 2011; Sviderko et al., 2015). Разом з тим, отримані дані дають підставу стверджувати про доцільність застосування низьких доз основних макроелементів при їх комплексному поєднанні в системі живлення пшениці озимої в умовах Південного Степу України.

**Висновки.** Результати досліджень застосування мінеральних добрив у якості припосівного внесення та позакореневого підживлення пшениці озимої сорту Шестопалівка в умовах Південного Степу України показали наступне:

- припосівне внесення калійних добрив у дозі  $K_{12}$  сприяло більш інтенсивному формуванню площі листової поверхні рослинами пшениці озимої;
- застосування для позакореневого підживлення комбінації  $N + Mg + PK$  сприяло зростанню площі асимілюючої поверхні на 6–24% як на фоні припосівного внесення калійних добрив, так і без нього;
- на ефективність роботи листового апарату рослин в більшій мірі впливає стартове внесення добрив, аніж їх застосування в період вегетації рослин.

#### **Бібліографічні посилання:**

1. Ba, Q., Zhang, L., Chen, S., Li, G., & Wang, W. (2020). Effects of foliar application of magnesium sulfate on photosynthetic characteristics, dry matter accumulation and its translocation, and carbohydrate metabolism in grain during wheat grain filling. *Cereal Research Communications*, 48(2), 157–163. doi: 10.1007/s42976-020-00026-z
2. Bilousova, Z. V., Kenieva, V. A., & Klirakova, Y. O. (2021). Osoblyvosti roboty pihmentnoho kompleksu roslin pshenytsi ozymoi zalezno vid sposobu vnesennia dobriv [Peculiarities of pigment complex functioning of winter wheat plants depending on the fertilizer application method]. *Roslynyntstvo ta gruntoznavstvo*, 12(3), 7–16. (in Ukrainian). doi:10.31548/agr2021.03.007
3. Bordiuzha, N. P. (2011). Vplyv pozakorenevoho pidzhyvlennia na chystu produktyvnist fotosyntezy verkhnikh yarusiv lystkiv pshenytsi ozymoi [The effect of foliar application on neat productivity of photosynthesis of leaves of winter wheat]. *Naukovi dopovidi NUBiP*, 2(24) (in Ukrainian).
4. Chen, X., Zhang, W., Liang, X., Liu, Y., Xu, S., Zhao, Q. & Zou, C. (2019). Physiological and developmental traits associated with the grain yield of winter wheat as affected by phosphorus fertilizer management. *Scientific Reports*, 9(1). doi: 10.1038/s41598-019-53000-z
5. Duncan, E. G., O'Sullivan, C. A., Roper, M. M., Biggs, J. S., & Peoples, M. B. (2018). Influence of co-application of nitrogen with phosphorus, potassium and sulphur on the apparent efficiency of nitrogen fertiliser use, grain yield and protein content of wheat: Review. *Field Crops Research*, 226, 56–65. doi: 10.1016/j.fcr.2018.07.010
6. Dhillon, J., Torres, G., Driver, E., Figueiredo, B., & Raun, W. R. (2017). World Phosphorus Use Efficiency in Cereal Crops. *Agronomy Journal*, 109(4), 1670–1677. doi: 10.2134/agronj2016.08.0483
7. Dzanagov, S. X., Lazarov, T. K., Kaloev, B. S., Kubatieva, Z. A., & Kalagova, R. V. (2019). Vlijanie dlitel'nogo primenenija udobrenij na pokazateli rosta, urozhajnost i kachestvo zerna ozymoj pshenicy [Effect of long-term fertilization on growth indicator, yield and quality of winter wheat grain]. *Agrohimija*, (4), 31–38 (in Russian). doi: 10.1134/s0002188119020066
8. Hamaiunova, V. V., Dvoret'skyi, V. F., Sydiakina, O. V., & Hlushko, T. V. (2017). Formuvannia nadzemnoi masy yarykh pshenytsi ta trytykale pid vplyvom optymizatsii yikh zhyvlennia na pivdni Ukrainy [Formation of a precious mass of straw wheat and triticale under influence of the optimization of their food on the south of Ukraine]. *Visnyk Zhytomyrskoho natsionalno ahroekolohichnoho universytetu*, 2 (61), t. 1, 20–28 (in Ukrainian).
9. Hamaiunova, V. V., & Smirnova, I. V. (2015). Formuvannia produktyvnosti pshenytsi ozymoi zalezno vid umov vyroshchuvannia v pivdenomu stepu [Formation of wheat productivity winter depending on the growing conditions in the southern steppe]. *Zbirnyk naukovykh prats NNTS "Instytut zemlerobstva NAAN"*, (4), 46–51 (in Ukrainian).
10. Hospodarenko, H. M., Chernov, O. D., Ryabovol, Y. S., Liubych, V. V., & Kryzhanovskiy, V. H. (2020). Rist i rozvytok pshenytsi ozymoi u vesniano-litnii period vechetatsii zalezno vid umov mineralnoho zhyvlennia v Pravoberezhnomu lisostepu

Ukrainy [Growth and development of winter wheat in the spring-summer period of vegetation depending on conditions of mineral nutrition in the right bank of Lisosteppe of Ukraine]. *Visnyk Umans'koho natsionalnoho universytetu sadivnytstva*, 2, 3–8 (in Ukrainian). doi: 10.31395/2310-0478-2020-2-3-8

11. Hospodarenko, H. M., Martyniuk, A. T., & Boiko, V. P. (2021). Produktyvniyst polovoiv sivozminy u razi kaliidefitsynoi systemy udobrennia [The productivity of field crop rotation under potassium deficient fertilization system]. *Visnik Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*, (1), 28–36 (in Ukrainian). doi: 10.31210/visnyk2021.01.03

12. Hrytsaienko, Z. M., Hrytsaienko, A. O., & Karpenko, V. P. (2003). *Metody biolohichnykh ta ahrokhimichnykh doslidzhen roslyn i hruntiv* [Methods of biological and agrochemical studies of plants and soils]. Kyiv: ZAT «Nichlava», 320 (in Ukrainian).

13. Grynyk, S. I. (2019). Produktyvniyst pshenytsi yaroiv zalezjno vid obrobitku gruntu ta systemy udobrennia v umovakh Peredkarpattia [Productivity of spring wheat depending on methods of the basic soil tillage and fertilizer systems in the Pre carpathian conditions]. *Agrology*, 2(1), 41–46 (in Ukrainian). doi: 10.32819/2617-6106.2018.14016

14. Grzebisz, W. (2013). Crop response to magnesium fertilization as affected by nitrogen supply. *Plant and Soil*, 368(1–2), 23–39. doi: 10.1007/s11104-012-1574-z

15. Ionova, E. V., Gaze, V. L., & Lihovidova, V. A. (2020). Fotosinteticheskaia deyatelnost i dinamika nakopleniia suhoi massy rastenii ozimoj myagkoj pshenicy v zavisimosti ot uslovii vyrashhivaniia [Photosynthetic activity and dynamics of dry mass of plants accumulation of winter soft wheat, depending on growing conditions]. *Zernovoe hozjajstvo Rossii*, (1(67)), 23–27 (in Russian). doi: 10.31367/2079-8725-2020-67-1-23-27

16. Jankowski, K., Jankowski, K., Hulanicki, P. S., Sokólski, M., Dubis, B., & Hulanicki, P. (2016). Yield and quality of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in response to different systems of foliar fertilization. *Journal of Elementology*, (3/2016). doi: 10.5601/jelem.2015.20.4.1036

17. Kalenska, S. M., Yermakova, L. M., Palamarchuk, V. D., Polishchuk, I. S., & Polishchuk, M. I. (2015). Systemy suchasnykh intensyvnnykh tekhnolohii u roslynnytstvi [Systems of modern intensive technologies in crop production]. *FOP Rohalska I.O., Vinnytsia*, 448 (in Ukrainian).

18. Klipakova, Y. O., Bilousova, Z. V., & Kenieva, V. A. (2021). Funktsionuvannia asymiliatsiinoho aparatu roslyn pshenytsi ozymoiv zalezjno vid strokiv ta sposobu vnesennia dobrov [Functioning of the assimilation apparatus of winter wheat plants depends on terms and method of fertilizer application]. *Zroshuvane zemlerobstvo*, (76), 30–35 (in Ukrainian). doi: 10.32848/0135-2369.2021.76.6

19. Klipakova, Y. O., Bilousova, Z. V., & Kenieva, V. A. (2021). Vplyv strokiv ta sposobu vnesennia dobrov na formuvannia produktivnosti roslyn pshenytsi ozymoiv [The influence of dates and methods of fertilizer application on the formation of winter wheat plants productivity]. *Tavriiskyi naukovi visnyk*, (120), 53–60 (in Ukrainian). doi: 10.32851/2226-0099.2021.120.8

20. Kovalyshyn, I. B., & Shevchenko, V. V. (2020). Vplyv fosfatu i fosfitu na stan fotosyntetichnoho aparatu roslyn pshenytsi [Phosphate and phosphite: influence on the state of wheat photosynthetic apparatus]. *Fiziolohiia roslyn i henetyka*, 52(6), 507–517 (in Ukrainian). doi: 10.15407/frg2020.06.507

21. Lobunskaja, I. A., Ionova, E. V., & Lihovidova, V. A. (2021). Vliianie zasushlivykh uslovii na urozhajnost i elementy fotosinteticheskoi dejatel'nosti ozimoj mjagkoj pshenicy [The effect of arid conditions on productivity and elements of photosynthetic activity of winter soft wheat]. *Agrarnaja nauka*, (2), 74–77 (in Russian). doi: 10.32634/0869-8155-2021-345-2-74-77

22. Lv, X., Han, J., Liao, Y., & Liu, Y. (2017). Effect of phosphorus and potassium foliage application post-anthesis on grain filling and hormonal changes of wheat. *Field Crops Research*, 214, 83–93. doi: 10.1016/j.fcr.2017.09.001

23. Lyfenko, S. P., Nakonechnyj, M. Y., & Narhan, T. P. (2021). Osoblyvosti selektsii sortiv pshenytsi miakoi ozymoiv stepovoho ekotypu u zviazku zi zminamy klimatu v umovakh Pivdnia Ukrainy [Peculiarities of the selection of soft winter steppe ecotype wheat varieties in connection with climate change in the conditions of Southern Ukraine]. *Visnyk ahrarnoi nauky*, 99(3), 53–62 (in Ukrainian). doi: 10.31073/agrovisnyk202103-07

24. Mamenko, T. P., Sheheda, I. M., Pochynok, V. M., & Senina, L. V. (2017). Vplyv umov azotnoho zhyvlennia na aktyvnist antyoksydantnykh fermentiv u lystkakh ozymoiv pshenytsi [Effects of nitrogen supply on antioxidant enzymes activity in leaves of winter wheat]. *Fiziolohiia roslyn i henetyka*, 49(2), 165–173 (in Ukrainian). doi: 10.15407/frg2017.02.165

25. Mazurenko, B. O., & Novytska, N. V. (2020). Nakopychennia absoliutno sukhoi rechovyny ta chysta produktivniyst fotosintezy posiviv trytykale za piznykh osinnikh strokiv sivby ta pidzhyvlen azotom [Dry matter accumulation and triticale photosynthesis efficiency in depend on late autumn sowing terms and nitrogen fertilizing]. *Tavriiskyi naukovi visnyk*, (111), 105–111 (in Ukrainian). doi: 10.32851/2226-0099.2020.111.14

26. Mussarat, M., Bibi, H., Ahmad, M., Ilahi, H., Anwar, S., Shahzad, H., & Khan, F. (2021). Accentuating the Role of Nitrogen to Phosphorus Ratio on the Growth and Yield of Wheat Crop. *Sustainability*, 13(4), 2253. doi: 10.3390/su13042253

27. Nichiporovich, A.A. (1969). Metodicheskie ukazaniya po uchetu i kontrolyu vazhneishikh pokazatelei protsessov fotosinteticheskoi deyatelnosti rastenii v posevakh [Guidelines for accounting and control of the most important indicators of the processes of photosynthetic activity of plants in crops]. Moscow, 48 (in Russian).

28. Noor H, Zhao, Q. L., Zhang, R. R., Wang, Z. X., Li, Wang, P. R., Gao, Z. Q. (2021). Effects of sowing methods and nitrogen rates on photosynthetic characteristics, yield, and quality of winter wheat. *Photosynthetica*, 59(2), 277–285. doi: 10.32615/ps.2021.018

29. Panfilova, A. V., & Hamaiunova, V. V. (2018). Fotosyntetichna diialnist posiviv pshenytsi ozymoiv zalezjno vid sortu ta zhyvlennia v umovakh Pivdennoho Stepu Ukrainy [Photosynthetic activity of winter wheat sowings which depend on varieties and nutrition in the Southern Steppe of Ukraine]. *Naukovi horyzonty*, 65(2), 3–10 (in Ukrainian). doi: 10.33249/2663-2144-2018-65-2-3-10

30. Polishchuk, M. I. (2020). Produktyvniyst roslyn pshenytsi ozymoiv zalezjno vid fonu zhyvlennia ta zastosuvannia biolohichnykh dobrov v umovakh Pravoberezhnoho Lisostepu Ukrainy [Productivity of winter wheat plants depending on

the background of the nutrition and application of biological fertilizers in the conditions of the rightbank foreststeppe of Ukraine]. International independent scientific journal, (15), 19–27.

31. Posch, B. C., Kariyawasam, B. C., Bramley, H., Coast, O., Richards, R. A., Reynolds, M. P., ... Atkin, O. K. (2019). Exploring high temperature responses of photosynthesis and respiration to improve heat tolerance in wheat. *Journal of Experimental Botany*, 70(19), 5051–5069. doi: 10.1093/jxb/erz257

32. Sardans, J., & Peñuelas, J. (2015). Potassium: a neglected nutrient in global change. *Global Ecology and Biogeography*, 24(3), 261–275. doi: 10.1111/geb.12259

33. Shegeda, I. M., Pochinok, V. M., Kiriziy, D. A., & Mamenko, T. P. (2018). Vplyv umov azotnoho zhyvlennia na fotosyntezy, produktyvnyshchyn i bilkovyshchyn zerna ozymoi pshenytsi [Influence of nitrogen supply on photosynthesis, grain productivity and protein content of winter wheat]. *Fiziologiya rastenyi i genetika*, 50 (2), 105–114 (in Ukrainian). doi: 10.15407/frg2018.02.105

34. Sviderko, M. S., Shuvar, A. M., Tkachenko, L. Y., Tymchyshyn, O. F., Behen, L. L., & Tymkiv, M. Y. (2015). Fotosyntetychna produktyvnyshchyn roslyn ozymoi pshenytsi zalezno vid strokiv sivby y umov zhyvlennia [Photosynthetic productivity winter wheat plants depends on sowing period and feeding conditions]. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynyshchynstvo*, 58(II), 90–97 (in Ukrainian).

35. Vozhehova, R. A., & Serhieiev, L. A. (2018). Fotosyntetychna diialnist nasinnievkykh posyviv pshenytsi ozymoi zalezno vid udobrennia ta zakhystu roslyn v umovakh Pivdnia Ukrainy [Photosynthetic activity of seed wheat sows of winter dependence on fertilization and protection of plants under the conditions of the South of Ukraine]. *Naukovi dopovidi NUBiP Ukrainy*, 2(72) (in Ukrainian). doi: 10.31548/dopovidi2018.02.014

36. Voznesenskaja, T. Y., & Mozharova, I. P. (2021). Vliianie innovacionnykh udobritelnykh kompleksov na fotosyntezy i produktyvnyshchyn listovogo apparata pshenytsi ozymoi [Effect of innovative fertilizer complexes on photosynthesis and productivity of the leaf apparatus of winter wheat]. *Plodorodie*, (6), 52–55 (in Russian) . doi: 10.25680/U19948603.2021.123.14

37. Wang, Y., Zhang, Z., Liang, Y., Han, Y., Han, Y., & Tan, J. (2020). High Potassium Application Rate Increased Grain Yield of Shading-Stressed Winter Wheat by Improving Photosynthesis and Photosynthate Translocation. *Frontiers in Plant Science*. 11. doi: 10.3389/fpls.2020.00134

38. Zambrosi, F. C. (2019). Foliar Phosphorus Applications in the Forms of Phosphate and Phosphite Have Contrasting Effects on Wheat Performance Under Field Conditions. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 22(5), 395–401. doi: 10.1007/s12892-017-0060-0

**Bilousova Z.V.** Candidate of Sciences in Agriculture, Senior Lecturer, Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University, Zaporozhye, Ukraine

**Keneva V.A.** Phd student, Assistant, Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University, Zaporozhye, Ukraine

#### **Influence of the mineral nutrition system on the functioning of the winter wheat leaf apparatus**

*In order to ensure the optimal nutritional regime of winter wheat plants, it is necessary to coordinate the fertilization system with the biological features of the crop. This action contributes to the active formation of the leaf surface of plants, which further causes the high harvest formation with good indicators of the grain quality. The aim of the research was to determine the effectiveness of mineral fertilizers as post-sowing and foliar application, on the photosynthetic activity indicators of winter wheat plants.*

*The research has been carried out using post-sowing application of potassium fertilizers and foliar fertilization with carbamide (N), magnesium sulfate (Mg) and potassium monophosphate (Pk) for Shestopalivka winter wheat variety in the conditions of the Scientific and Educational Centre of Dmytro Motornyi Tavria State Agro-Technological University.*

*The leaf surface area of winter wheat plants of Shestopalivka variety ranged from 15.85 to 48.46 thousand m<sup>2</sup>/ha depending on the development stage and mineral nutrition system. The highest values of this index at the level of 39.29–48.46 thousand m<sup>2</sup>/ha were noted at the stem elongation stage. The greatest increase in leaf surface area on average during the growing season was noted when using a full complex of fertilizers for foliar application (N+Mg+Pk) against the background of post-sowing application of K<sub>12</sub>, which was 14% compared to the control.*

*The highest values of the net photosynthetic productivity at the level of 9.83-10.53 g/m<sup>2</sup> per day for Shestopalivka variety was observed in the interphase period of tillering – stem elongation. It was determined that the post-sowing K<sub>12</sub> application contributed to the NPP increase only in the interphase period of stem elongation – heading by 1.76 times compared to the variants without its application. In general, higher values of the NPP were recorded for the use of post-sowing application of potassium fertilizer in combination with foliar application of N+Mg+Pk – 15% higher, on average, compared to N+Mg+Pk on the background of K<sub>0</sub>.*

*Thus, the introduction of the studied mineral fertilizers contributed to the active growth of winter wheat plants and the development of their leaf surface, which ensured the stable operation of the photosynthetic apparatus and further enhanced the high crop productivity formation.*

**Key words:** leaf area, net photosynthetic yield, post-sowing fertilization, foliar fertilization.