

## ФОТОСИНТЕЗУВАЛЬНА СИСТЕМА РОСЛИН ПШЕНИЦІ ТВЕРДОЇ ОЗИМОЇ ЗА РІЗНИХ ДОЗ ДОБРИВ І ЇХ ПОЄДНАННЯ В ПОЛЬОВІЙ СІВОЗМІНІ

Г. М. ГОСПОДАРЕНКО<sup>1</sup>, доктор сільськогосподарських наук

В. В. ЛЮБИЧ<sup>1</sup>, доктор сільськогосподарських наук

С. М. ХОЛОД<sup>2</sup>, в. о. завідувача лабораторії зернових культур

О. Г. ІЛЬЧОВ<sup>2</sup>, молодший науковий співробітник

<sup>1</sup> Уманський національний університет

<sup>2</sup> Устимівська дослідна станція рослинництва

*Види і дози мінеральних добрив та їх поєднання по-різному впливають на формування площі листків пшениці твердої озимої. Так, внесення лише азотних добрив у дозі 75 і 150 кг/га д. р. сприяє її збільшенню порівняно з контролем у фазу ВВСН 50 відповідно на 35 і 53 %. При цьому внесення лише фосфорних і калійних добрив істотно не впливає на формування площі листової поверхні. Зниження доз фосфорних і калійних добрив у його складі в усі роки проведення досліджень достовірно не знижує площу листків у фазу ВВСН 73. Проте за зниження дози повного мінерального добрива вдвічі – до  $N_{75}P_{30}K_{40}$  достовірно знижує площу листків у цю фазу – на 11–19 % залежно від року проведення досліджень.*

**Ключові слова:** пшениця тверда озима, удобрення, площа листків, фази росту, погодні умови.

**Вступ.** Величина врожаю пшениці твердої озимої, як й інших сільськогосподарських культур визначається продуктивністю роботи фотосинтетичного апарату [1]. Структурною фотосинтетичною одиницею, яка забезпечує рослини продуктами асиміляції, в найбільшій мірі є листок. Продуктивність фотосинтетичної роботи насамперед визначається площею листової поверхні та часом її роботи [2]. За даними [3] відмінності в площі листків удобрених і не удобрених посівів пшениці всіх сортів спостерігались вже від періоду кушіння і до молочної стиглості зерна, що дуже важливо для формування врожаю. Доведено [4], що удобрення в сукупності з погодними чинниками створюють різні умови для вегетації пшениці озимої, що впливає на динаміку формування площі листової поверхні та надземної маси рослин. Реалізація біологічного потенціалу сучасних сортів пшениці озимої істотно залежить від умов весняно-літньої вегетації. У цей період проходять основні етапи органогенезу рослин, що зумовлюють формування врожаю та його якості. При цьому створюється близько 95 % органічної речовини [5].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Через відповідне зростання світових цін на добрива та усвідомлення впливу їх надмірного використання на навколишнє середовище, застосування синтетичних добрив, особливо азотних,

для підвищення врожайності та якості сільськогосподарських культур стає дедалі сумнівнішим [6]. Тому подолання надмірного використання синтетичних добрив без зниження врожайності та якості сільськогосподарських культур є однією з головних цілей майбутнього сільського господарства [7]. Більше того, вища частота посух та термічних стресових явищ протягом циклу вирощування культур часто робить традиційну практику азотного удобрення (тобто на основі синтетичних гранульованих добрив) неефективною або навіть шкідливою для рослин [8]. Однак багато культур залежать від азотного живлення для досягнення високої врожайності та стандартів якості [9]. Серед цих культур пшениця, що забезпечує їжею 40 % населення світу, з поточним річним виробництвом 790,6 мільйона тонн [10].

Виробництво пшениці та азотне удобрення нерозривно пов'язані, та наразі основною проблемою є підтримка (або збільшення) першого та зменшення другого. Таким чином, дослідження альтернативних і стійких продуктів, а також способів і термінів їх застосування може потенційно дозволити переосмислити живлення сільськогосподарських культур у найближчі роки [11].

Використання біостимуляторів для позакореневого оброблення було запропоновано як дієвий варіант для збільшення росту рослин, урожайності, якості, ефективності використання азоту та стійкості до біотичних та абіотичних стресів [12], одночасно зменшуючи кількість використовуваних хімікатів [13]. Нещодавно інші дослідження показали, що позакореневе удобрення може обмежити використання азотних добрив, що вносяться в ґрунт, одночасно покращуючи врожайність зерна та вміст білка в зерні м'якої пшениці в умовах середземноморського клімату [14]. Водночас, кілька досліджень показали, що використання одного біостимулятора не може зменшити кількість азотних добрив, не впливаючи негативно на врожайність зернових культур, таких як кукурудза та пшениця [15].

Одним із способів зниження застосування азотних добрив є тривале їх внесення менших доз за умови залишення побічної продукції на полі як добриво [16]. Взаємодія між різними дозами і їх поєднанням у польовій сівоzmіні не вивчалася ретельно, особливо для твердих сортів пшениці.

**Мета.** Встановити формування фотосинтезу вальної системи рослин пшениці твердої озимої за різних доз добрив і їх поєднання в польовій сівоzmіні.

**Методика досліджень.** Експериментальну частину досліджень проведено в умовах Правобережного Лісостепу України у стаціонарному польовому досліді з географічними координатами за Гринвічем 48° 46' північної широти і 30° 14' східної довготи, закладеному у 2011 році на дослідному полі Уманського НУС упродовж 2020–2022 рр. Дослід одночасно розгорнутий на чотирьох полях, що дає змогу щорічно отримувати дані врожайності всіх культур сівоzmіни (пшениця озима, кукурудза, ячмінь ярий, соя). Повторення дослідів триразове. Площа облікової ділянки 25 м<sup>2</sup>. Ґрунт дослідної ділянки – чорнозем опідзолений важкосуглинковий на лесі з вмістом гумусу 3,8 %, вміст азоту легкогідролізованих сполук – низький, рухомих сполук фосфору та калію – підвищений, рН<sub>KCl</sub> – 5,7.

У варіанті дослідів виробничого контролю (N<sub>150</sub>P<sub>60</sub>K<sub>80</sub>) доза добрив

розрахована за господарським винесенням основних елементів живлення культурами сівозміни. Схему досліду складено так, щоб за результатами проведених досліджень можна було визначити можливість зниження доз окремих видів мінеральних добрив і визначити оптимальне їх поєднання як у сівозміні, так і під окремі культури.

Схема застосування добрив у польовій сівозміні під пшеницю тверду озиму (сорт Андромеда) включала такі варіанти: без добрив (контроль),  $N_{75}$ ,  $N_{150}$ ,  $P_{60}K_{80}$ ,  $N_{150}K_{80}$ ,  $N_{150}P_{60}$ ,  $N_{75}P_{30}K_{40}$ ,  $N_{150}P_{60}K_{80}$ ,  $N_{150}P_{30}K_{40}$ ,  $N_{150}P_{60}K_{40}$ ,  $N_{150}P_{30}K_{80}$ . Відповідно до схеми досліду фосфорні та калійні добрива вносяться під зяблевий обробіток ґрунту, азотні – під передпосівну культивуацію та в підживлення. Нетоварна частина врожаю культур сівозміни (солома, стебелиння) залишається на полі на добриво.

Площу листків визначали за допомогою довжини, ширини і перевідного коефіцієнта (0,67). Фотосинтетичний потенціал посівів за певні проміжки часу визначали за формулою

$$\text{ФП} = 0,5 (L_1 + L_2) \times T), \quad (1)$$

де ФП – фотосинтетичний потенціал, тис.  $m^2 \cdot \text{дїб/га}$ ;

$L_1$  і  $L_2$  – площа листової поверхні у певні фази розвитку, тис.  $m^2/га$ ;

$T$  – тривалість міжфазного періоду, дїб.

Чисту продуктивність фотосинтезу ( $г/м^2$  за добу) розраховували за формулою

$$\text{ЧПФ} = (B_2 - B_1) : (0,5(L_1 + L_2) T), \quad (2)$$

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

$(B_2 - B_1)$  – приріст сухої маси за обліковий період, г;

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

$T$  – період між двома обліками, дїб.

Для якісного оцінювання тісноти зв'язку використовували коефіцієнт детермінації за шкалою Чеддока: 0,1 – 0,3 – незначний зв'язок; 0,3 – 0,5 – помірний; 0,5 – 0,7 – істотний; 0,7 – 0,9 – високий; 0,9 – 0,99 – дуже високий; 1 – функціональний. Статистичне оброблення цифрового матеріалу здійснювали методом польового однофакторного дисперсійного аналізу польового досліду. Оброблення даних також проводили за використання спеціалізованого програмного забезпечення Microsoft Excel 2016 (Microsoft Corporation, USA).

**Результати досліджень.** Як показали проведені дослідження, площа листків пшениці озимої та її динаміка залежала як від погодних умов, такі від удобрення (табл. 1). Найменша площа листків формувалася в умовах 2019–2020 с.-г. року як на початку, так і впродовж усього вегетаційного періоду. Так, у фазу ВВСН 20 і ВВСН 50 на ділянках без добрив вона була відповідно на 32 і 67 % меншою порівняно з показниками 2021–2022 с.-г. року. За внесення повного мінерального добрива ( $N_{150}P_{60}K_{80}$ ) ці показники були меншими відповідно на 29 і 67 %.

У динаміці формування листового апарату пшениці озимої простежувалось збільшення його площі до фази ВВСН 50, потім спостерігалось її зменшення. Це пояснюється всиханням листків нижніх ярусів.

**Табл. 1. Площа листків пшениці твердої озимої залежно від удобрення, тис. м<sup>2</sup>/га**

| Варіант досліджу                                 | Фаза росту й розвитку рослин |         |         |         |
|--------------------------------------------------|------------------------------|---------|---------|---------|
|                                                  | ВВСН 20                      | ВВСН 30 | ВВСН 50 | ВВСН 73 |
| 2020 р.                                          |                              |         |         |         |
| Без добрив (контроль)                            | 2,7                          | 9,4     | 9,8     | 11,3    |
| N <sub>75</sub>                                  | 2,8                          | 10,9    | 12,0    | 13,6    |
| N <sub>150</sub>                                 | 2,9                          | 12,4    | 14,8    | 16,4    |
| P <sub>60</sub> K <sub>80</sub>                  | 2,7                          | 9,7     | 10,0    | 11,6    |
| N <sub>150</sub> K <sub>80</sub>                 | 2,9                          | 12,5    | 14,9    | 16,8    |
| N <sub>150</sub> P <sub>60</sub>                 | 2,9                          | 12,5    | 15,2    | 17,0    |
| N <sub>75</sub> P <sub>30</sub> K <sub>40</sub>  | 2,8                          | 11,0    | 12,4    | 14,0    |
| N <sub>150</sub> P <sub>60</sub> K <sub>80</sub> | 2,9                          | 12,6    | 15,4    | 17,3    |
| N <sub>150</sub> P <sub>30</sub> K <sub>40</sub> | 2,9                          | 12,6    | 15,4    | 17,1    |
| N <sub>150</sub> P <sub>60</sub> K <sub>40</sub> | 2,9                          | 12,5    | 15,1    | 16,8    |
| N <sub>150</sub> P <sub>30</sub> K <sub>80</sub> | 2,9                          | 12,5    | 15,0    | 16,7    |
| <i>HIP<sub>05</sub></i>                          | 0,1                          | 0,6     | 0,7     | 0,9     |
| 2021 р.                                          |                              |         |         |         |
| Без добрив (контроль)                            | 2,4                          | 14,7    | 19,9    | 16,8    |
| N <sub>75</sub>                                  | 2,5                          | 17,1    | 21,1    | 18,2    |
| N <sub>150</sub>                                 | 2,5                          | 21,2    | 25,5    | 22,5    |
| P <sub>60</sub> K <sub>80</sub>                  | 2,4                          | 15,2    | 20,3    | 17,3    |
| N <sub>150</sub> K <sub>80</sub>                 | 2,5                          | 21,4    | 26,0    | 22,9    |
| N <sub>150</sub> P <sub>60</sub>                 | 2,5                          | 21,2    | 26,5    | 23,6    |
| N <sub>75</sub> P <sub>30</sub> K <sub>40</sub>  | 2,5                          | 18,0    | 22,6    | 19,9    |
| N <sub>150</sub> P <sub>60</sub> K <sub>80</sub> | 2,5                          | 21,7    | 26,9    | 23,8    |
| N <sub>150</sub> P <sub>30</sub> K <sub>40</sub> | 2,6                          | 21,5    | 26,1    | 23,0    |
| N <sub>150</sub> P <sub>60</sub> K <sub>40</sub> | 2,5                          | 21,5    | 26,8    | 23,8    |
| N <sub>150</sub> P <sub>30</sub> K <sub>80</sub> | 2,5                          | 21,5    | 26,6    | 23,6    |
| <i>HIP<sub>05</sub></i>                          | 0,1                          | 1,1     | 1,3     | 1,4     |
| 2022 р.                                          |                              |         |         |         |
| Без добрив (контроль)                            | 4,0                          | 22,1    | 29,3    | 25,3    |
| N <sub>75</sub>                                  | 4,1                          | 26,4    | 39,7    | 33,5    |
| N <sub>150</sub>                                 | 4,2                          | 30,9    | 44,9    | 37,6    |
| P <sub>60</sub> K <sub>80</sub>                  | 4,0                          | 22,4    | 29,8    | 25,7    |
| N <sub>150</sub> K <sub>80</sub>                 | 4,2                          | 31,0    | 45,7    | 37,6    |
| N <sub>150</sub> P <sub>60</sub>                 | 4,1                          | 30,9    | 45,6    | 37,6    |
| N <sub>75</sub> P <sub>30</sub> K <sub>40</sub>  | 4,1                          | 26,7    | 40,9    | 34,0    |
| N <sub>150</sub> P <sub>60</sub> K <sub>80</sub> | 4,2                          | 31,4    | 46,8    | 38,4    |
| N <sub>150</sub> P <sub>30</sub> K <sub>40</sub> | 4,1                          | 31,2    | 46,2    | 38,2    |
| N <sub>150</sub> P <sub>60</sub> K <sub>40</sub> | 4,2                          | 31,3    | 46,5    | 38,4    |
| N <sub>150</sub> P <sub>30</sub> K <sub>80</sub> | 4,2                          | 31,2    | 46,6    | 38,3    |
| <i>HIP<sub>05</sub></i>                          | 0,2                          | 1,4     | 2,3     | 1,7     |

Проте з цієї закономірності виділялись рослини пшениці озимої в умовах 2019–2020 с.–г. року, коли площа листків рослин продовжувала збільшуватися і після фази ВВСН 50. Порівняно з попереднім роком, у 2020–2021 с.–г. році пшениця озима краще нарощувала асиміляційний листковий апарат з фази ВВСН 30. Найінтенсивніше він формувався в умовах 2021–2022 с.–г. року і вже у фазу ВВСН 50 у варіантах дослідів з внесенням повного мінерального добрива досягав оптимальної величини – 40,9–46,8 тис. м<sup>2</sup>/га.

Добрива суттєво впливали на інтенсивність і динаміку розвитку листкового апарату пшениці озимої вже з фази ВВСН 30. У фазі ВВСН 20 різниця порівняно з контролем у його прирості спостерігалась у варіантах дослідів з внесенням високих доз мінеральних добрив, у першу чергу азотних.

Види і дози мінеральних добрив та їх поєднання по-різному впливали на формування площі листків пшениці озимої. Так, внесення лише азотних добрив у дозі 75 і 150 кг/га д. р. сприяло її збільшенню порівняно з контролем у фазу ВВСН 50 відповідно на 35 і 53 %. При цьому внесення лише фосфорних і калійних добрив істотно не впливало на формування площі листкової поверхні. Навіть внесення фосфорних добрив у дозі 60 кг/га д. р. на азотно-калійному тлі (N<sub>150</sub>K<sub>80</sub>) не сприяло достовірному збільшенню площі листків пшениці озимої у фазі ВВСН 50 у всі роки проведення досліджень. Аналогічна дія була і калійної складової повного мінерального добрива. Зниження доз фосфорних і калійних добрив у його складі в усі роки проведення досліджень достовірно не знижувало площу листків у фазу ВВСН 73. Проте за зниження дози повного мінерального добрива вдвічі – до N<sub>75</sub>P<sub>30</sub>K<sub>40</sub> достовірно знижувало площу листків у цю фазу – на 11–19 % залежно від року проведення досліджень.

У пшениці озимої листки різних ярусів мають неоднакове значення у формуванні врожаю. Вважають, що в утворенні та перерозподілі асимілянтів у врожаї зерна верхівковому листку належить 45 %, підверхівковому – 35, колосу 20 % [17]. У разі видалення верхівкового листка зерно стає щуплими, що зменшує його масу в колосі на 15–20 %.

Як видно з даних табл. 2, площа верхівкових листків пшениці озимої, як загальна площа листкового апарату суттєво залежала від погодних умов вегетаційного періоду. Найліпше вони склалися у 2021–2022 с.–г. році, їх площа становила 6,4–11,2 тис. м<sup>2</sup>/га, тоді як в умовах 2019–2020 с.–г. році лише 3,1–5,6 тис. м<sup>2</sup>/га залежно від варіанту удобрення. Удобрення також мало значний вплив на формування верхівкового листка. При цьому найбільший вплив мало поліпшення азотного живлення рослин, тоді як фосфорні добрива у дозі 60 кг/га д. р. сприяли збільшенню їх площі в середньому за три роки проведення досліджень лише на 4 %, а калійні в дозі 80 кг/га д. р. – на 3 %. Зменшення дози мінеральних добрив удвічі (варіант N<sub>75</sub>P<sub>30</sub>K<sub>40</sub>) знижувало площу верхівкових листків на 18 %. У цілому, залежно від доз повного мінерального добрива, площа верхівкових листків порівняно з контролем підвищувалася на 44–74 %. Найбільше це проявлялося в умовах 2021–2022, а найменше – 2021–2022 с.–г. року.

Отже, управлінням умов живлення можна регулювати темпи формування, розмір і тривалість функціонування листкового апарату пшениці твердої озимої.

**Табл. 2. Площа верхівкових листків пшениці твердої озимої у фазу ВВСН 50 залежно від удобрення, тис. м<sup>2</sup>/га**

| Варіант досліджу                                 | Рік проведення дослідження |      |      | Середнє |
|--------------------------------------------------|----------------------------|------|------|---------|
|                                                  | 2020                       | 2021 | 2022 |         |
| Без добрив (контроль)                            | 3,1                        | 4,3  | 6,4  | 4,6     |
| N <sub>75</sub>                                  | 4,2                        | 5,4  | 9,2  | 6,3     |
| N <sub>150</sub>                                 | 5,2                        | 6,8  | 10,8 | 7,6     |
| P <sub>60</sub> K <sub>80</sub>                  | 3,2                        | 4,4  | 6,5  | 4,7     |
| N <sub>150</sub> K <sub>80</sub>                 | 5,4                        | 6,9  | 10,9 | 7,7     |
| N <sub>150</sub> P <sub>60</sub>                 | 5,4                        | 7,2  | 10,8 | 7,8     |
| N <sub>75</sub> P <sub>30</sub> K <sub>40</sub>  | 4,4                        | 6,0  | 9,5  | 6,6     |
| N <sub>150</sub> P <sub>60</sub> K <sub>80</sub> | 5,6                        | 7,3  | 11,2 | 8,0     |
| N <sub>150</sub> P <sub>30</sub> K <sub>40</sub> | 5,4                        | 7,0  | 11,1 | 7,8     |
| N <sub>150</sub> P <sub>60</sub> K <sub>40</sub> | 5,3                        | 7,2  | 11,1 | 7,9     |
| N <sub>150</sub> P <sub>30</sub> K <sub>80</sub> | 5,3                        | 7,2  | 11,1 | 7,9     |
| <i>HIP<sub>05</sub></i>                          | 0,2                        | 0,3  | 0,5  | —       |

Вважається, що сільськогосподарські культури близько 95 % своєї фітомаси формують завдяки фотоасиміляції вуглекислого газу у процесі фотосинтезу [18]. Основним джерелом підвищення коефіцієнта корисної дії фотосинтезу є інтенсифікація роботи асиміляційного апарату завдяки збільшенню концентрації фотосинтетичних пігментів. В умовах агроценозів фотосинтез – це складний і багатогранний процес, який змінюється під впливом внутрішніх і зовнішніх чинників. До того ж між інтенсивністю фотосинтезу та накопиченням біомаси рослинами не завжди існує пряма залежність, тобто не завжди від сформованої надземної маси залежить продуктивність рослин. Особливо це спостерігається за посушливих умов вегетації. Нестача вологи, високі температури і суховії у період цвітіння та наливу зерна негативно впливають на формування врожаю [19].

Вважається, що основним показником, що характеризує продуктивну роботу рослин, є фотосинтетичний потенціал посіву (ФПП). Проведеними дослідженнями встановлено, що динаміка наростання фотосинтетичного потенціалу посіву пшениці озимої у роки проведення досліджень залежала як від погодних умов, так і від удобрення (табл. 3). Найкращі умови для його формування мали умови росту й розвитку пшениці озимої у 2021–2022 с.–г. році. Вже у фазу ВВСН 20 він був 120–126 тис. м<sup>2</sup>/(га·діб), тоді як у 2020–2021 с.–г. році лише 32–34 тис. м<sup>2</sup>/(га·діб) залежно від варіанту досліджу. В цілому найбільше ФПП наростав у міжфазний період ВВСН 20–ВВСН 30 у всі роки проведення досліджень, але з різною ефективністю.

Найбільше на формування ФПП впливало поліпшення азотного живлення рослин. При цьому він інтенсивніше наростав на початку вегетації пшениці озимої. Поліпшення фосфорного живлення рослин внесенням P<sub>60</sub> у середньому за роки проведення досліджень сприяло підвищенню ФПП на азотно калійному тлі (N<sub>150</sub>K<sub>80</sub>) і калійних на азотно-фосфорному (N<sub>150</sub>P<sub>60</sub>) – лише на 2 %, тобто спостерігалась лише тенденція поліпшення.

**Табл. 3. Фотосинтетичний потенціал посіву (ФПП) пшениці твердої озимої залежно від удобрення, тис. м<sup>2</sup>/(га·діб)**

| Варіант досліджу                                 | Фаза росту й розвитку рослин |            |            |            | Сумарний ФПП |
|--------------------------------------------------|------------------------------|------------|------------|------------|--------------|
|                                                  | ВВСН<br>20                   | ВВСН<br>30 | ВВСН<br>50 | ВВСН<br>73 |              |
| 2020 р.                                          |                              |            |            |            |              |
| Без добрив (контроль)                            | 85                           | 346        | 148        | 175        | 754          |
| N <sub>75</sub>                                  | 88                           | 412        | 179        | 211        | 890          |
| N <sub>150</sub>                                 | 91                           | 490        | 218        | 254        | 1054         |
| P <sub>60</sub> K <sub>80</sub>                  | 85                           | 355        | 151        | 180        | 771          |
| N <sub>150</sub> K <sub>80</sub>                 | 91                           | 493        | 222        | 260        | 1067         |
| N <sub>150</sub> P <sub>60</sub>                 | 91                           | 499        | 225        | 264        | 1079         |
| N <sub>75</sub> P <sub>30</sub> K <sub>40</sub>  | 88                           | 421        | 185        | 217        | 911          |
| N <sub>150</sub> P <sub>60</sub> K <sub>80</sub> | 91                           | 504        | 229        | 268        | 1092         |
| N <sub>150</sub> P <sub>30</sub> K <sub>40</sub> | 91                           | 504        | 228        | 265        | 1088         |
| N <sub>150</sub> P <sub>60</sub> K <sub>40</sub> | 91                           | 497        | 223        | 260        | 1072         |
| N <sub>150</sub> P <sub>30</sub> K <sub>80</sub> | 91                           | 495        | 222        | 259        | 1067         |
| <i>HIP<sub>05</sub></i>                          | 4                            | 24         | 11         | 12         | 53           |
| 2021 р.                                          |                              |            |            |            |              |
| Без добрив (контроль)                            | 32                           | 467        | 257        | 269        | 1025         |
| N <sub>75</sub>                                  | 34                           | 516        | 275        | 291        | 1116         |
| N <sub>150</sub>                                 | 34                           | 630        | 336        | 360        | 1360         |
| P <sub>60</sub> K <sub>80</sub>                  | 32                           | 479        | 263        | 277        | 1052         |
| N <sub>150</sub> K <sub>80</sub>                 | 34                           | 640        | 342        | 366        | 1382         |
| N <sub>150</sub> P <sub>60</sub>                 | 34                           | 644        | 351        | 378        | 1406         |
| N <sub>75</sub> P <sub>30</sub> K <sub>40</sub>  | 34                           | 548        | 298        | 318        | 1198         |
| N <sub>150</sub> P <sub>60</sub> K <sub>80</sub> | 34                           | 656        | 355        | 381        | 1426         |
| N <sub>150</sub> P <sub>30</sub> K <sub>40</sub> | 35                           | 643        | 344        | 368        | 1389         |
| N <sub>150</sub> P <sub>60</sub> K <sub>40</sub> | 34                           | 652        | 354        | 381        | 1421         |
| N <sub>150</sub> P <sub>30</sub> K <sub>80</sub> | 34                           | 649        | 351        | 378        | 1412         |
| <i>HIP<sub>05</sub></i>                          | 2                            | 31         | 17         | 18         | 70           |
| 2022 р.                                          |                              |            |            |            |              |
| Без добрив (контроль)                            | 120                          | 771        | 519        | 455        | 1865         |
| N <sub>75</sub>                                  | 123                          | 992        | 695        | 603        | 2413         |
| N <sub>150</sub>                                 | 126                          | 1137       | 784        | 677        | 2724         |
| P <sub>60</sub> K <sub>80</sub>                  | 120                          | 783        | 527        | 463        | 1893         |
| N <sub>150</sub> K <sub>80</sub>                 | 126                          | 1151       | 791        | 677        | 2745         |
| N <sub>150</sub> P <sub>60</sub>                 | 123                          | 1148       | 790        | 677        | 2738         |
| N <sub>75</sub> P <sub>30</sub> K <sub>40</sub>  | 123                          | 1014       | 712        | 612        | 2461         |
| N <sub>150</sub> P <sub>60</sub> K <sub>80</sub> | 126                          | 1173       | 809        | 691        | 2800         |
| N <sub>150</sub> P <sub>30</sub> K <sub>40</sub> | 123                          | 1161       | 802        | 688        | 2773         |
| N <sub>150</sub> P <sub>60</sub> K <sub>40</sub> | 126                          | 1167       | 807        | 691        | 2791         |
| N <sub>150</sub> P <sub>30</sub> K <sub>80</sub> | 126                          | 1167       | 807        | 689        | 2789         |
| <i>HIP<sub>05</sub></i>                          | 6                            | 55         | 34         | 29         | 124          |

Як уже зазначалось, основою продуктивності рослин є фотосинтез. Теоретичні розрахунки показують, що оптимальна робота фотосинтетичного апарату на різних рівнях його організації може підвищити продуктивність зернових культур на 10–60 % [20]. Формування біологічного врожаю залежить не тільки від інтенсивності фотосинтезу в листках, але і від їх площі, швидкості їх формування і тривалості функціонування, особливо в другу половину вегетації.

Інтенсивне формування та функціонування листкового апарату пшениці озимої впливали на інтенсивність його роботи (табл. 4). Як видно з даних табл. 3.9, за різних погодних умов і режимів живлення рослин у розрахунку на 1 м<sup>2</sup> площі листків формувалось 1,82–4,58 г зерна. Найефективніше листковий апарат працював в умовах 2019–2020 с.-г. року, де цей показник становив 3,80–4,58 г залежно від варіанту дослідів. Це можна пояснити малою площею листків на одиницю площі поля, що запобігало їх самозатіненню та сприяло поліпшенню ефективності роботи. Цим можна пояснити і низькі показники (у межах 1,82–2,28 г/м<sup>2</sup>) в умовах 2021–2022 с.-г. року.

У середньому за три роки проведення досліджень показник формування маси зерна пшениці озимої змінювався в межах 3,11–3,68 г/м<sup>2</sup>, або на 18 %. Найбільшим він був на фосфорно-калійному тлі, а найбільше наближався до нього показник у варіанті з половинною дозою внесення мінеральних добрив (N<sub>75</sub>P<sub>30</sub>K<sub>40</sub>) – 3,51 г/м<sup>2</sup>.

Внесення азотних, фосфорних і калійних добрив на тлі їх парних комбінацій знижувало показник зернової продуктивності листкового апарату від азоту на 13 %, тоді як від фосфору підвищувало на 4 %. На тлі калійних добрив спостерігалась лише тенденція поліпшення цього показника.

**Табл. 4. Формування врожаю зерна пшениці твердої озимої залежно від удобрення, г/м<sup>2</sup> площі листків**

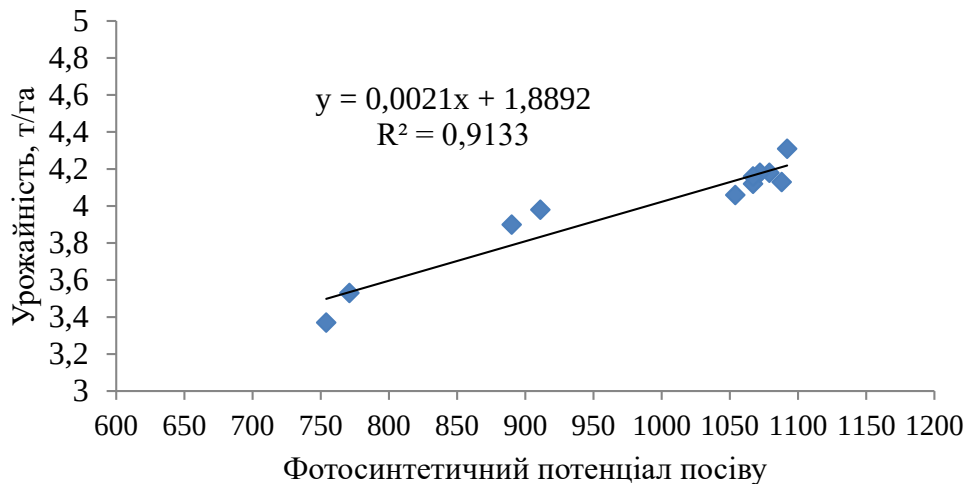
| Варіант дослідів                                 | Рік проведення дослідження |      |      | Середнє |
|--------------------------------------------------|----------------------------|------|------|---------|
|                                                  | 2020                       | 2021 | 2022 |         |
| Без добрив (контроль)                            | 4,47                       | 3,76 | 2,28 | 3,50    |
| N <sub>75</sub>                                  | 4,38                       | 4,09 | 2,03 | 3,50    |
| N <sub>150</sub>                                 | 3,85                       | 3,64 | 1,82 | 3,10    |
| P <sub>60</sub> K <sub>80</sub>                  | 4,58                       | 3,98 | 2,47 | 3,68    |
| N <sub>150</sub> K <sub>80</sub>                 | 3,86                       | 3,63 | 1,82 | 3,10    |
| N <sub>150</sub> P <sub>60</sub>                 | 3,87                       | 3,72 | 1,90 | 3,16    |
| N <sub>75</sub> P <sub>30</sub> K <sub>40</sub>  | 4,37                       | 4,11 | 2,06 | 3,51    |
| N <sub>150</sub> P <sub>60</sub> K <sub>80</sub> | 3,95                       | 3,82 | 1,88 | 3,21    |
| N <sub>150</sub> P <sub>30</sub> K <sub>40</sub> | 3,80                       | 3,67 | 1,88 | 3,11    |
| N <sub>150</sub> P <sub>60</sub> K <sub>40</sub> | 3,90                       | 3,81 | 1,87 | 3,19    |
| N <sub>150</sub> P <sub>30</sub> K <sub>80</sub> | 3,90                       | 3,70 | 1,84 | 3,15    |
| HIP <sub>05</sub>                                | 0,19                       | 0,17 | 0,11 | –       |

У варіантах дослідів зі зменшенням дози фосфорних і калійних добрив, або



їх обох у середньому за три роки проведення досліджень була відмічена лише тенденція зниження зернової продуктивності листкового апарату пшениці озимої – на 0,02–0,10 г/м<sup>2</sup> площі листків.

Результати проведених досліджень показали, що між фотосинтетичним потенціалом посіву та врожайністю зерна пшениці твердої озимої існує дуже високий кореляційний зв'язок ( $r = 0,93$ ) (рис. 1).



**Рис. 1. Кореляційна залежність між фотосинтетичним потенціалом посіву пшениці твердої озимої і врожайністю зерна**

У результаті отримано таке рівняння регресії цієї залежності:

$$y = 0,0021x + 1,8892,$$

де  $y$  – урожайність зерна, т/га;

$x$  – фотосинтетичний потенціал посіву, тис. м<sup>2</sup>/(га·діб).

Отже, умови вирощування пшениці твердої озимої у роки проведення досліджень і умови мінерального живлення рослин, створені дозами, видами добрив і їх поєднанням, мають значний вплив на формування та ефективність функціонування листкового апарату пшениці твердої озимої.

**Висновки.** Площа листків пшениці озимої та її динаміка залежить як від погодних умов, такі від удобрення. Найменша площа листків формується в умовах 2019–2020 с.–г. року як на початку, так і впродовж усього вегетаційного періоду. Так, у фазу ВВСН 20 і ВВСН 50 на ділянках без добрив вона відповідно на 32 і 67 % менша порівняно з показниками 2021–2022 с. –г. року. За внесення повного мінерального добрива (N<sub>150</sub>P<sub>60</sub>K<sub>80</sub>) ці показники менші відповідно на 29 і 67 %. Види і дози мінеральних добрив та їх поєднання по-різному впливають на формування площі листків пшениці твердої озимої. Так, внесення лише азотних добрив у дозі 75 і 150 кг/га д. р. сприяє її збільшенню порівняно з контролем у фазу ВВСН 50 відповідно на 35 і 53 %. При цьому внесення лише фосфорних і калійних добрив істотно не впливає на формування площі листової поверхні. Зниження доз фосфорних і калійних добрив у його складі в усі роки проведення досліджень достовірно не знижує площу листків у фазу ВВСН 73. Проте за зниження дози повного мінерального добрива вдвічі – до N<sub>75</sub>P<sub>30</sub>K<sub>40</sub>

достовірно знижує площу листків у цю фазу – на 11–19 % залежно від року проведення досліджень.

Динаміка наростання фотосинтетичного потенціалу посіву пшениці озимої у роки проведення досліджень також залежить як від погодних умов, так і від удобрення. Найкращі умови для його формування мали умови росту й розвитку пшениці озимої у 2021–2022 с. –г. році. Вже в фазу ВВСН 20 він становить 120–126 тис. м<sup>2</sup>/(га·діб), тоді як у 2020–2021 с.–г. році лише 32–34 тис. м<sup>2</sup>/(га·діб) залежно від варіанту досліду. В цілому найбільше ФПП нарастає в міжфазний період ВВСН 20–ВВСН 30 у всі роки проведення досліджень, але з різною ефективністю.

### Література:

1. Ozturk A., Caglar O., Sahin F. Yield response of wheat and barley to inoculation of plant growth promoting rhizobacteria at various levels of nitrogen fertilization. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 2003. Vol. 166. P. 262–266.
2. Любич В. В. Продуктивність сортів і ліній пшениць залежно від абіотичних і біотичних чинників. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2017. Вип. 95. С. 146–161.
3. Господаренко Г.М., Любич В.В., Бальян Я.В. Економічне, агрохімічне та енергетичне оцінювання ефективності застосування добрив під пшеницю тверду озиму. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. 2024. Вип. 104. С. 201–209.
4. Любич В. В. Вплив абіотичних та біотичних чинників на продуктивність сортів і ліній пшениці спельти. *Вісник Полтавської ДАА*. 2017. №3. С. 18–24.
5. Любич В. В. Селекційна цінність нових сортів тритикале ярого. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. 2021. Вип. 97. С. 3–11.
6. Graziano S., Marmiroli N., Visioli G., Gulli M. Proteins and metabolites as indicators of flours quality and nutritional properties of two durum wheat varieties grown in different Italian locations. *Foods*. 2020. Vol. 9. Article number 315.
7. Hobson D. J., Harty M. A., Langton D., McDonnell K., Tracy S. R. The establishment of winter wheat root system architecture in field soils: The effect of soil type on root development in a temperate climate. *Soil Use Manag.* 2023. Vol. 39. P. 198–208.
8. Kumar G., Sahoo D. Effect of seaweed liquid extract on growth and yield of *Triticum aestivum* var. Pusa Gold. *J. Appl. Phycol.* 2011. Vol. 23. P. 251–255.
9. Любич В. В. Ураження пшениці м'якої озимої кореневими гнилями за різних доз добрив. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. 2022. Вип. 101. Ч. 1. С. 129–144.
10. USDA, 2023. World Agricultural Production [WWW Document]. URL <https://www.fas.usda.gov/data/world-agricultural-production>.
11. La Bella S., Consentino B.B., Roupheal Y., Ntatsi G., De Pasquale C., Iapichino G., Sabatino L. Impact of *Ecklonia maxima* seaweed extract and mo foliar treatments on biofortification, spinach yield, quality and NUE. *Plants*. 2023. Vol. 10. Article number 1139.
12. Mathlouthi F., Ruggeri R., Rossini F. Alternative solution to synthetic fertilizers for the starter fertilization of bread wheat under mediterranean climatic conditions. *Agronomy*. 2022. Vol. 12. 511.

13. Любич В. В. Технологічні параметри виробництва зерна тритикале ярого, вирощеного за різних доз азотних добрив. *Вісник Уманського НУС*. 2023. №2. С. 74–82.
14. Mathlouthi F., Ruggeri R., Rossini A., Rossini F. A new fertilization approach for bread wheat in the Mediterranean environment: effects on yield and grain protein content. *Agronomy*. 2022. Vol. 12. Article number 2152.
15. Kapela K., Sikorska A., Niewęłowski M., Krasnodębska E., Zarzecka K., Gugala M. The impact of nitrogen fertilization and the use of biostimulants on the yield of two maize varieties (*Zea mays* L.) cultivated for grain. *Agronomy*. 2020. Vol. 10. Article number 1408.
16. Любич В.В., Невлад В.І., Мартинюк А.Т. Продуктивність тритикале ярого за різних доз азотних добрив. *Агробіологія*. 2022. №1. С. 152–159.
17. Господаренко Г. М., Любич В. В. Реакція сортів тритикале ярого на рівень азотного живлення. *Зб. наук. пр. Уманського національного університету садівництва*. 2010. Вип. 72. С. 21–30.
18. Noor H., Yan Z., Sun P., Zhang L., Ding P., Li L., Ren A., Sun M., Gao Z. Effects of nitrogen on photosynthetic productivity and yield quality of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agronomy*. 2023. Vol. 13. Article number 1448.
19. Любич В. В. Фізичні властивості зерна та білково-протеїназний комплекс тритикале ярого за різних доз азотних добрив. *Зб. наук. пр. Уманського НУС*. 2023. Вип. 102. С. 142–154.
20. Господаренко Г.М., Любич В.В., Гавриленко В.С., Приходько В.О., Крикун С.П., Худолій Л.В., Товстенко Я.Ю. Технологічні параметри формування якості зерна ячменю ярого голозерного. *Збірник Уманського НУС*. 2024. Вип. 104. С. 315–324.

## References:

1. Ozturk, A., Caglar, O., Sahin, F. (2003). Yield response of wheat and barley to inoculation of plant growth promoting rhizobacteria at various levels of nitrogen fertilization. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, no. 166, pp. 262–266.
2. Liubych, V. V. (2017). Productivity of varieties and lines of wheat depending on abiotic and biotic factors. *Ukrainian Black Sea region agrarian science*, no. 95, pp. 146–161. [in Ukrainian].
3. Hospodarenko H. M., Liubych V. V., Balian Ya. V. (2024). Economic, agrochemical and energy evaluation of the effectiveness of fertilizer application for durum winter wheat. *Collection of scientific works of Uman NUH*, vyp. 104, pp. 201–209. [in Ukrainian].
4. Liubych, V. V. (2017). The influence of abiotic and biotic factors on the productivity of varieties and spelled wheat lines. *Bulletin of Poltava SAA*, no. 3, pp. 18–24. [in Ukrainian].
5. Lyubich, V. V. (2021). Selection value of new varieties of spring triticale. *Collection of scientific works of Uman NUH*, no. 97, pp. 3–11. [in Ukrainian].
6. Graziano, S., Marmiroli, N., Visioli, G., Gullì, M. (2020). Proteins and metabolites as indicators of flours quality and nutritional properties of two durum wheat varieties grown in different Italian locations. *Foods*, no. 9, 315.
7. Hobson, D. J., Harty, M. A., Langton, D., McDonnell, K., Tracy, S. R. (2023). The establishment of winter wheat root system architecture in field soils: The effect of

soil type on root development in a temperate climate. *Soil Use Manag*, no. 39, pp. 198–208.

8. Kumar, G., Sahoo, D. (2011). Effect of seaweed liquid extract on growth and yield of *Triticum aestivum* var. Pusa Gold. *J. Appl. Phycol.*, no. 23, pp. 251–255.

9. Lyubich, V. V. (2022). Affection of soft winter wheat by root rot at different doses of fertilizers. *Collection of scientific works of Uman NUH*, no. 101, pp. 129–144. [in Ukrainian].

10. USDA, 2023. World Agricultural Production [WWW Document]. URL <https://www.fas.usda.gov/data/world-agricultural-production>

11. La Bella, S., Consentino, B.B., Roupahel, Y., Ntatsi, G., De Pasquale, C., Iapichino, G., Sabatino, L. (2021). Impact of *Ecklonia maxima* seaweed extract and mo foliar treatments on biofortification, spinach yield, quality and NUE. *Plants*, no. 10, 1139.

12. Mathlouthi, F., Ruggeri, R., Rossini, F. (2022). Alternative solution to synthetic fertilizers for the starter fertilization of bread wheat under mediterranean climatic conditions. *Agronomy*, no. 12, 511.

13. Lyubich, V. V. (2023). Technological parameters of spring triticales grain production grown under different doses of nitrogen fertilizers. *Bulletin of the Uman NUH*, no. 2, pp. 74–82. [in Ukrainian].

14. Mathlouthi, F., Ruggeri, R., Rossini, A., Rossini, F. (2022). A new fertilization approach for bread wheat in the Mediterranean environment: effects on yield and grain protein content. *Agronomy*, no. 12, 2152.

15. Kapela, K., Sikorska, A., Niewęglowski, M., Krasnodębska, E., Zarzecka, K., Gugala, M. (2020). The impact of nitrogen fertilization and the use of biostimulants on the yield of two maize varieties (*Zea mays* L.) cultivated for grain. *Agronomy*, no. 10, 1408.

16. Lyubich, V. V., Nevlad, V. I., Martyniuk, A. T. (2022). Productivity of spring triticales under different doses of nitrogen fertilizers. *Agrobiology*, no. 1, pp. 152–159. [in Ukrainian].

17. Hospodarenko, H. M., Lyubich, V. V. (2010). Reaction of spring triticales varieties to the level of nitrogen nutrition. *Collection of scientific works of Uman NUH*, no. 72, pp. 21–30. [in Ukrainian].

18. Noor, H., Yan, Z., Sun, P., Zhang, L., Ding, P., Li, L., Ren, A., Sun, M., Gao, Z. (2023). Effects of nitrogen on photosynthetic productivity and yield quality of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agronomy*, no. 13, 1448.

19. Liubych, V. V. (2023). Physical properties of grain and protein-proteinase complex of spring triticales at different doses of nitrogen fertilizers. *Collection of scientific works of Uman NUH*, no. 102, pp. 142–154. [in Ukrainian].

20. Hospodarenko, H. M., Liubych, V. V., Havrylenko, V. S., Prykhodko, V. O., Krykun, S. P., Khudolii, L. V., Tovstenko, Ya. Iu. (2024). Technological parameters of the formation of the quality of spring bare-grain barley grain. *Collection of scientific works of Uman NUH*, no. 104, pp. 315–324. [in Ukrainian].

## Annotation

**Hospodarenko H. M., Liubych V. V., Kholod S. M., Iliichov O. H.**

### ***Photosynthetic system of winter durum wheat plants under different fertilizer rates and combinations in a field crop rotation***

**Objective.** To determine the development of the photosynthetic system of winter durum wheat plants under different fertilizer rates and their combinations within a field crop rotation.

**Methods.** Field experiment, measurement, comparative calculation, analytical, and statistical methods.

**Results.** The leaf area of winter wheat and its dynamics depend both on weather conditions and fertilization. The smallest leaf area was observed during the 2019–2020 growing season, both at the beginning and throughout the vegetation period. For example, in the BBCH 20 and BBCH 50 stages, the leaf area on unfertilized plots was 32% and 67% lower, respectively, compared to the 2021–2022 season. With the application of a complete mineral fertilizer ( $N_{150}P_{60}K_{80}$ ), these values were 29% and 67% lower, respectively. The dynamics of photosynthetic potential accumulation in winter wheat crops during the study years also depended on weather and fertilization. The most favorable conditions for the formation of this potential occurred during the 2021–2022 growing season. At the BBCH 20 stage, the photosynthetic potential reached 120–126 thousand  $m^2/(ha \cdot day)$ , whereas in 2020–2021 it was only 32–34 thousand  $m^2/(ha \cdot day)$ , depending on the treatment. In general, the photosynthetic potential accumulated most intensively during the BBCH 20–30 phase in all study years, although with varying effectiveness.

**Conclusions.** Types and rates of mineral fertilizers and their combinations differently affect the formation of the leaf area in winter durum wheat. For instance, the application of nitrogen fertilizers at 75 and 150 kg/ha of active ingredient increased the leaf area at the BBCH 50 stage by 35% and 53%, respectively, compared to the control. Meanwhile, the application of only phosphorus and potassium fertilizers did not significantly affect the leaf area formation. A reduction in phosphorus and potassium doses within the fertilizer mixture did not significantly reduce leaf area at the BBCH 73 stage during any of the study years. However, reducing the rate of complete mineral fertilizer by half (to  $N_{75}P_{30}K_{40}$ ) significantly reduced leaf area at this stage by 11–19%, depending on the year.

**Key words:** winter durum wheat, fertilization, leaf area, growth stages, weather conditions.