

## ФОТОСИНТЕЗУВАЛЬНА СИСТЕМА РОСЛИН ЯЧМЕНЮ ЯРОГО ГОЛОЗЕРНОГО ЗАЛЕЖНО ВІД СИСТЕМИ УДОБРЕННЯ

**Г. М. ГОСПОДАРЕНКО**, доктор сільськогосподарських наук

**В. В. ЛЮБИЧ**, доктор сільськогосподарських наук

**В. І. НЕВЛАД**, кандидат сільськогосподарських наук

**В. С. ГАВРИЛЕНКО**, доктор філософії

Уманський національний університет садівництва

*Встановлено, що застосування азотної складової окремо та сумісно з фосфорними або калійними добривами значно підвищує площу листкової поверхні. При цьому її рівень змінюється залежно від погодних умов вегетаційного періоду. Так, в умовах більшої кількості опадів площа листків зростає від 26,5 до 45,1–80,6 тис. м<sup>2</sup>/га залежно від удобрення. У 2023 р. цей показник збільшується відповідно від 11,6 до 20,3–26,6 тис. м<sup>2</sup>/га.*

**Ключові слова:** довжина та ширина листка, кількість листків, фотосинтетичний потенціал, чиста продуктивність фотосинтезу.

**Постановка проблеми.** Внесення азотних добрив є одним із основних чинників підвищення продуктивності сільськогосподарських культур. Вважається, що в ХХ столітті застосування мінеральних добрив сприяло приблизно 50 % загального збільшення врожайності сільськогосподарських культур, що пояснює їх широке використання [1]. Проте застосування азотних добрив сприяло загальному погіршенню природного середовища [2]. Це також може негативно впливати на харчову цінність сільськогосподарської продукції [3]. Якісний і високий урожай ячменю можна одержати за умов дотримання технології вирощування та врахування біологічних особливостей культури. Завдяки збалансованості мінерального живлення рослин можна керувати кількістю та якістю врожаю [4].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Добрива – першочерговий і найефективний засіб зростання врожайності. Дози добрив та їх співвідношення під ячмінь ярий необхідно коригувати з урахуванням біологічних особливостей сорту, вмісту рухомих сполук елементів живлення у ґрунті, попередників і мети використання зерна [5]. Добрива сприяють збільшенню рухомих форм азоту, фосфору та калію в ґрунті. Між кількістю внесених добрив, вмістом рухомих форм поживних речовин у ґрунті та врожайністю культур встановлено тісний кореляційний зв'язок. Саме рухомі форми цих сполук сприяють стабілізації рівня врожайності та зменшенню негативного впливу погодних умов [6]. Застосування добрив сприяє поліпшенню поживного режиму ґрунтів [7]. Нині серед найголовніших проблем сільськогосподарського виробництва є деградація ґрунтів, стрімке погіршення їх родючості та ігнорування закону повернення

основних елементів живлення, винесених урожаєм [8]. Одним зі способів запобігання цьому є внесення оптимальних доз мінеральних добрив [9].

Відомо, що раціональна система удобрення повинна враховувати потреби рослин в елементах живлення впродовж життєвого циклу, своєчасно забезпечувати їх потрібними елементами живлення в необхідних кількостях і співвідношеннях та найдоцільніших формах. При цьому наголошується, що при удобренні ґрунту під ячмінь треба звертати увагу на його сортові особливості [10]. Встановлено, що навіть середні врожаї ячменю беруть із ґрунту більше азоту, фосфору й калію на формування одиниці врожаю, порівняно з іншими зерновими культурами. Також доведено, що повне мінеральне удобрення дає більший приріст урожайності зерна, ніж удобрення тільки одним елементом або парними комбінаціями основних елементів живлення [11].

З урахуванням біологічних особливостей сорту, гідротермічних умов, типу ґрунту та вмісту елементів живлення в легкодоступній формі визначається співвідношення елементів у складі повного мінерального добрива [12]. Нестачу добрив частково можна компенсувати застосуванням бактеріальних препаратів і мікродобрив, які не лише сприятимуть підвищенню врожайності, а й поліпшенню якості продукції [13]. Протягом багатьох років селекція рослин також була спрямована на підвищення врожайності шляхом створення сортів, які добре реагують на інтенсифікацію вирощування, включаючи внесення добрив [14]. Крім цього, було важливо отримати форми, які в основній продукції концентрують велику кількість поживних речовин, важливих для подальшого використання сировини, таких як білок і крохмаль. Вдалося отримати високоврожайні сорти з високою концентрацією основних поживних речовин ціною втрати багатьох корисних для здоров'я сполук [15].

Біотичні та абіотичні стреси є основними стресами, які відчують рослини, і вони можуть призвести до вторинних стресів, пов'язаних із виробництвом активних форм кисню (АФК). Дисбаланс між кількістю АФК у рослинній клітині та ефективністю їх нейтралізації призводить до окиснювального стресу, який викликає пошкодження нуклеїнових кислот, білків, вуглеводів, ліпідів і рослинних пігментів, таких як хлорофіл. Для підтримки нормального перебігу життєво важливих функцій рослина регулює рівень АФК за допомогою ферментативних і неферментативних систем. Остання система в основному базується на великій групі фенольних метаболітів, деякі з яких, такі як саліцилова кислота (SA), також функціонують у рослині як фенольні рослинні гормони, сигналізуючи і регулюючи численні реакції рослин на біотичні та абіотичні стреси [16]. Їх концентрація в рослині, крім згаданих стресів і генотипових ознак, може визначатися також технологією вирощування [17].

Згідно Вага́нські зі співавторами [18], вирішальне значення в формуванні вмісту фенольних сполук у рослинах має рівень азотного живлення. У літературі можна знайти приклади, що вказують на стимулювальну дію мінерального азоту на вміст фенольних сполук [19]. З іншого боку, деякі дослідження повідомляють, що дефіцит цього макроелемента посилює виробництво фенолів у рослинах, як сполук, відповідальних за багато захисних реакцій у їхніх тканинах [20]. За

даними Sun зі співавторами [21], внесення азотних добрив значно збільшує біомасу та вміст азоту в рослині, але знижує концентрацію фенольних сполук залежно від швидкості, що пов'язано з інгібуванням фенілаланін-аміакової ліази та експресією ключових генів. Як підкреслюють Falcinelli зі співавторами [22] дефіцит основних мінеральних речовин є сильним стресовим чинником для рослин, який може порушити основні життєві процеси рослин.

Фотосинтетична діяльність листків піддається впливу низки чинників. Це пов'язано з біохімічними реакціями, ферментативною активністю та експресією генів, які спостерігаються в рослинах [23]. За даними Szczepanek зі співавторами [24], ефективність фотосинтезу змінюється залежно від вмісту хлорофілу в листках, що залежить від взаємодії умов вирощування та генотипу. Різні генотипи одного виду можуть по-різному реагувати на одні й ті самі екологічні та агротехнічні фактори [25]. Таким чином, внесення азотних добрив може мати значний вплив на формування листкової поверхні. Однак доступна література не вказує чітко на напрямок цих змін. Також недостатньо досліджено параметри формування фотосинтетичної листкової поверхні ячменю голозерного.

**Мета статті** – встановити фотосинтетичні параметри рослин ячменю гол озерного залежно від системи удобрення.

**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. Дослід одночасно розгорнутий на чотирьох полях, що дає змогу щорічно отримувати дані врожайності всіх культур сівозміни (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 (за класифікацією FAO/WRB, 2022 – Phaeosems). За генетичними властивостями він займає проміжне місце між чорноземом типовим і темно-сірим опідзоленим ґрунтом. Тому, одержані в польових дослідях на чорноземі опідзоленому дані можуть бути поширені й на ці підтипи чорноземних ґрунтів. Вміст гумусу в шарі ґрунту 0–20 см перед закладанням стаціонарного дослідів (2010 рік) був підвищений (3,8 %), реакція ґрунтового розчину – дуже слабкокисло (рН<sub>кел</sub> 5,8), гідролітична кислотність – 2,8 смоль/кг, сума ввібраних основ – 24,8 смоль/кг, ємність катіонного обміну – 27,6 смоль/кг, ступінь насиченості основами – 89,9 %, вміст азоту легкогідролізованих сполук – низький (105 мг/кг), рухомих сполук фосфору і калію – підвищений (відповідно 106 і 132 мг/кг). Ґрунт характеризується середнім вмістом кальцію, магнію, низьким вмістом рухомих сполук мангану, цинку та міді, середнім вмістом кобальту.

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 дослідів складено так, щоб за результатами проведених дослідів можна було визначити можливість зниження доз окремих видів мінеральних добрив і визначити оптимальне їх поєднання. Схема

застосування добрив у польовій сівозміні включала такі варіанти (насиченість добривами 1 га площі сівозміни): без добрив (контроль), N<sub>75</sub>, N<sub>150</sub>, P<sub>60</sub>K<sub>80</sub>, N<sub>150</sub>K<sub>80</sub>, N<sub>150</sub>P<sub>60</sub>, N<sub>75</sub>P<sub>30</sub>K<sub>40</sub>, N<sub>150</sub>P<sub>60</sub>K<sub>80</sub>, N<sub>150</sub>P<sub>30</sub>K<sub>40</sub>, N<sub>150</sub>P<sub>60</sub>K<sub>40</sub>, N<sub>150</sub>P<sub>30</sub>K<sub>80</sub>. 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. Вирощували ячмінь голозерний ярий (сорт Ахілес).

У досліді вирощували ячмінь звичайний ярий (*Hordeum vulgare* L.) голозерний, дворядний, харчового призначення сорт Ахілес. Сорт створений відбором з популяції від схрещування сорту типового південного екотипу Южний із сортом Jet (Ефіопія) і належить до унікального ботанічного різновиду *glabronudum* (голезерно і гладенькі ості). Оригіном сорту є Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннезнавства та сортовивчення НААН України. Сорт рекомендований для вирощування в усіх зонах України. Напрями технологічного використання – харчовий (хліб, пластівці, макаронні вироби, сухі сніданки) і кормовий. Максимальна зафіксована врожайність зерна становила 8,2 т/га. Рослина має дворядний, остистий колос, ості гладенькі, зазубрені. Зерно легко вимолочується. Воно формується крупним, видовженим, масою 1000 зерен 55 г, легко відокремлюється від колоскової луски, вимолочуваність 95 %.

Площу листової поверхні – множенням довжини і ширини листка на коефіцієнт 0,67 у динаміці. 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. м<sup>2</sup> діб/га;

L<sub>1</sub> і L<sub>2</sub> – площа листової поверхні у певні фази розвитку, тис. м<sup>2</sup>/га;

T – тривалість міжфазного періоду, діб.

Чисту продуктивність фотосинтезу (г/м<sup>2</sup> площі листків за добу) розраховували за формулою

$$\text{ЧПФ} = V/\text{СФПП}, \quad (2)$$

де V – урожайність зерна та соломи, г/га;

СФПП – сумарний фотосинтетичний потенціал посіву, м<sup>2</sup> діб/га.

Математичну обробку здійснювали методом дисперсійного аналізу однофакторного польового досліду, використовуючи пакет стандартних програм «Microsoft Excel 2010».

**Результати досліджень.** Кількість листків на одному стеблі ячменю ярого голозерного більше змінювалась від року дослідження (табл. 1). Так, у 2021 р. цей показник був на рівні 3,0 шт/стебло в фазах ВВСН 20 і ВВСН 30. У 2022 р. він становив – 3,0 і 4,8 шт/стебло, а в 2023 р. – 4,2 шт/стебло. При цьому добрива впливали на їх кількість у фазах ВВСН 50 і ВВСН 73. У 2021 і 2022 рр. кількість листків зменшувалась від застосування систем удобрення, які містили азотну складову, а в 2023 р. добрива не змінювали їх кількості.

**Табл. 1. Кількість листків на стеблі ячменю ярого голозерного залежно від удобрення, шт.**

Варіант досліджу	Фаза росту й розвитку рослин			
	ВВСН20	ВВСН30	ВВСН50	ВВСН73
2021 р.				
Без добрив (контроль)	3,0	4,0	5,0	4,2
N <sub>35</sub>	3,0	3,2	5,0	4,2
N <sub>70</sub>	3,0	3,0	5,0	3,9
P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	3,0	3,0	5,0	4,2
N <sub>70</sub> K <sub>70</sub>	3,0	3,0	4,8	3,9
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub>	3,0	3,0	4,8	3,8
N <sub>35</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	3,0	3,0	4,8	4,0
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	3,0	3,0	4,8	3,8
N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	3,0	3,0	4,8	3,8
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>35</sub>	3,0	3,0	4,8	3,8
N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>70</sub>	3,0	3,0	4,8	3,8
<i>HIP<sub>05</sub></i>	0,1	0,1	0,3	0,2
2022 р.				
Без добрив (контроль)	3,0	4,8	4,5	3,2
N <sub>35</sub>	3,0	4,8	5,0	4,0
N <sub>70</sub>	3,0	4,8	5,0	4,0
P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	3,0	4,8	4,7	3,5
N <sub>70</sub> K <sub>70</sub>	3,0	4,8	4,2	4,0
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub>	3,0	4,8	4,2	4,0
N <sub>35</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	3,0	4,8	4,8	4,0
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	3,0	4,8	4,0	4,0
N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	3,0	4,8	4,0	4,0
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>35</sub>	3,0	4,8	4,0	4,0
N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>70</sub>	3,0	4,8	4,0	4,0
<i>HIP<sub>05</sub></i>	0,1	0,3	0,2	0,2
2023 р.				
Без добрив (контроль)	4,2		4,6	4,0
N <sub>35</sub>	4,2		4,6	4,0
N <sub>70</sub>	4,2		4,6	4,0
P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	4,2		4,6	4,0
N <sub>70</sub> K <sub>70</sub>	4,2		4,6	4,0
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub>	4,2		4,6	4,0
N <sub>35</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	4,2		4,6	4,0
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	4,2		4,6	4,0
N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	4,2		4,6	4,0
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>35</sub>	4,2		4,6	4,0
<i>HIP<sub>05</sub></i>	0,2		0,3	0,2

Довжина листків ячменю ярого голозерного змінювалась від фази росту та розвитку й удобрення (табл. 2).

**Табл. 2. Довжина листка ячменю ярого голозерного залежно від удобрення, см**

Варіант досліджу	Фаза росту й розвитку рослин			
	ВВСН20	ВВСН30	ВВСН50	ВВСН73
2021 р.				
Без добрив (контроль)	13,2	19,4	16,2	17,2
N <sub>35</sub>	13,3	20,1	22,1	23,5
N <sub>70</sub>	13,2	25,6	27,3	28,1
P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	13,2	19,9	19,1	20,0
N <sub>70</sub> K <sub>70</sub>	13,3	25,7	28,7	29,5
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub>	13,3	25,6	28,5	29,6
N <sub>35</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	13,2	20,2	24,3	25,2
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	13,3	26,0	29,1	30,1
N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	13,4	25,8	29,2	30,2
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>35</sub>	13,3	25,9	29,0	30,1
N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>70</sub>	13,2	25,7	29,1	30,4
<i>HIP<sub>05</sub></i>	0,7	1,3	1,5	1,8
2022 р.				
Без добрив (контроль)	7,2	12,3	15,6	16,4
N <sub>35</sub>	7,2	15,2	19,4	20,6
N <sub>70</sub>	7,1	18,1	23,5	24,8
P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	7,3	12,4	16,4	17,0
N <sub>70</sub> K <sub>70</sub>	7,2	18,5	24,5	25,1
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub>	7,1	18,6	24,7	25,3
N <sub>35</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	7,2	16,3	21,3	22,6
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	7,0	19,4	25,1	25,9
N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	7,2	19,1	25,2	25,7
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>35</sub>	7,3	19,5	25,0	25,5
N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>70</sub>	7,1	19,4	24,9	25,6
<i>HIP<sub>05</sub></i>	0,5	1,0	1,3	1,6
2023 р.				
Без добрив (контроль)	11,0		14,2	16,3
N <sub>35</sub>	13,3		17,4	19,1
N <sub>70</sub>	14,2		20,1	21,3
P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	11,2		14,5	16,6
N <sub>70</sub> K <sub>70</sub>	14,5		20,6	21,6
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub>	14,6		20,7	21,5
N <sub>35</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	14,0		18,2	20,0
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	14,6		21,1	22,1
N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	14,5		21,0	22,0
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>35</sub>	14,4		21,3	21,9
N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>70</sub>	14,3		21,1	22,3
<i>HIP<sub>05</sub></i>	0,8		1,0	1,1

Так, у фазу ВВСН 20 застосування добрив майже не впливало на цей показник, крім 2023 р., що зумовлено одночасним настанням фаз ВВСН 20 і

ВВСН 30. У фазах ВВСН 50 і ВВСН 73 довжина листків була більшою і зростала від застосування систем удобрення, особливо з азотною складовою. У фазу ВВСН 73 2021 р. довжина листка зростала на 75 %, у 2022 р. – на 57, а в 2023 р. – на 36 % за внесення повного мінерального добрива.

Ширина листків ячменю ярого голозерного менше змінювалась від застосування добрив порівняно з довжиною (табл. 3).

**Табл. 3. Ширина листка ячменю ярого голозерного залежно від удобрення, см**

Варіант досліджу	Фаза росту й розвитку рослин			
	ВВСН20	ВВСН30	ВВСН50	ВВСН73
2021 р.				
Без добрив (контроль)	0,5	0,4	1,2	1,3
N <sub>35</sub>	0,5	0,8	1,3	1,4
N <sub>70</sub>	0,5	0,9	1,3	1,5
P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	0,5	0,4	1,3	1,4
N <sub>70</sub> K <sub>70</sub>	0,5	0,9	1,3	1,5
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub>	0,5	0,9	1,3	1,5
N <sub>35</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	0,5	0,9	1,3	1,5
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	0,5	0,9	1,3	1,5
N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	0,5	0,9	1,3	1,5
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>35</sub>	0,5	0,9	1,3	1,5
N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>70</sub>	0,5	0,9	1,3	1,5
<i>HIP<sub>05</sub></i>	0,1	0,1	0,1	0,1
2022 р.				
Без добрив (контроль)	0,5	0,6	0,9	1,0
N <sub>35</sub>	0,5	0,7	1,0	1,1
N <sub>70</sub>	0,5	0,9	1,2	1,2
P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	0,5	0,6	0,9	1,0
N <sub>70</sub> K <sub>70</sub>	0,5	0,7	1,2	1,2
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub>	0,5	0,9	1,2	1,2
N <sub>35</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	0,5	0,7	1,1	1,1
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	0,5	0,9	1,2	1,2
N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	0,5	0,9	1,2	1,2
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>35</sub>	0,5	0,9	1,2	1,2
N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>70</sub>	0,5	0,9	1,2	1,2
<i>HIP<sub>05</sub></i>	0,1	0,1	0,1	0,1
2023 р.				
Без добрив (контроль)	0,7		0,8	0,9
N <sub>35</sub>	0,8		0,9	1,0
N <sub>70</sub>	0,8		0,9	1,0
P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	0,7		0,8	0,9
N <sub>70</sub> K <sub>70</sub>	0,8		0,9	1,0
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub>	0,8		0,9	1,0
N <sub>35</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	0,8		0,9	1,0
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	0,8		0,9	1,0
N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	0,8		0,9	1,0
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>35</sub>	0,8		0,9	1,0
N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>70</sub>	0,8		0,9	1,0
<i>HIP<sub>05</sub></i>	0,1		0,1	0,1

При цьому у фазу ВВСН 20 на цей показник не впливало удобрення, крім 2023 р. В інших фазах росту та розвитку ширина листків зростала в 1,2–2,3 рази порівняно з контролем. Найменшу ширину листків формували рослини ячменю ярого в 2023 р., що зумовлено пізньою сівбою.

Площа одного листка змінювалась подібно до формування довжини листка ячменю ярого голозерного (табл. 4).

**Табл. 4. Площа одного листка ячменю ярого голозерного залежно від удобрення, см<sup>2</sup>**

Варіант досліджу	Фаза росту й розвитку рослин			
	ВВСН20	ВВСН30	ВВСН50	ВВСН73
2021 р.				
Без добрив (контроль)	4,4	5,2	13,0	15,0
N <sub>35</sub>	4,5	10,8	19,2	22,0
N <sub>70</sub>	4,4	15,4	23,8	28,2
P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	4,4	5,3	16,6	18,8
N <sub>70</sub> K <sub>70</sub>	4,5	15,5	25,0	29,6
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub>	4,5	15,4	24,8	29,7
N <sub>35</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	4,4	12,2	21,2	25,3
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	4,5	15,7	25,3	30,3
N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	4,5	15,6	25,4	30,4
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>35</sub>	4,5	15,6	25,3	30,3
N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>70</sub>	4,4	15,5	25,3	30,6
<i>HIP<sub>05</sub></i>	0,2	0,7	0,9	1,1
2022 р.				
Без добрив (контроль)	2,4	4,9	9,4	11,0
N <sub>35</sub>	2,4	7,1	13,0	15,2
N <sub>70</sub>	2,4	10,9	18,9	19,9
P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	2,4	5,0	9,9	11,4
N <sub>70</sub> K <sub>70</sub>	2,4	8,7	19,7	20,2
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub>	2,4	11,2	19,9	20,3
N <sub>35</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	2,4	7,6	15,7	16,7
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	2,3	11,7	20,2	20,8
N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	2,4	11,5	20,3	20,7
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>35</sub>	2,4	11,8	20,1	20,5
N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>70</sub>	2,4	11,7	20,0	20,6
<i>HIP<sub>05</sub></i>	0,1	0,5	0,8	1,0
2023 р.				
Без добрив (контроль)	5,2	7,6	9,8	
N <sub>35</sub>	7,1	10,5	12,8	
N <sub>70</sub>	7,6	12,1	14,3	
P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	5,3	7,8	10,0	
N <sub>70</sub> K <sub>70</sub>	7,8	12,4	14,5	
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub>	7,8	12,5	14,4	
N <sub>35</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	7,5	11,0	13,4	
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	7,8	12,7	14,8	
N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	7,8	12,7	14,7	
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>35</sub>	7,7	12,8	14,7	
N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>70</sub>	7,7	12,7	14,9	
<i>HIP<sub>05</sub></i>	0,4	0,7	0,9	



Так, найменшою вона була у фазу ВВСН 20 і майже не змінювалась від системи удобрення. До фази ВВСН 73 зростала до 9,8–30,6 см<sup>2</sup> залежно від року дослідження та удобрення. Найменша площу листка була за вирощування ячменю ярого в 2023 р., а найбільша – в 2021 р.

Найвищу площу листків одного стебла отримано за вирощування ячменю ярого в 2021 р., а найменшу – в 2023 р. (табл. 5).

**Табл. 5. Площа листків одного стебла ячменю ярого голозерного залежно від удобрення, см<sup>2</sup>**

Варіант досліджу	Фаза росту й розвитку рослин			
	ВВСН20	ВВСН30	ВВСН50	ВВСН73
2021 р.				
Без добрив (контроль)	13,3	20,8	65,1	62,9
N <sub>35</sub>	13,4	34,5	96,2	92,6
N <sub>70</sub>	13,3	46,3	118,9	110,1
P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	13,3	16,0	83,2	78,8
N <sub>70</sub> K <sub>70</sub>	13,4	46,5	120,0	115,6
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub>	13,4	46,3	119,2	113,0
N <sub>35</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	13,3	36,5	101,6	101,3
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	13,4	47,0	121,7	115,0
N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	13,5	46,7	122,1	115,3
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>35</sub>	13,4	46,9	121,2	115,0
N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>70</sub>	13,3	46,5	121,7	116,1
<i>HIP<sub>05</sub></i>	0,6	2,3	5,8	5,1
2022 р.				
Без добрив (контроль)	7,2	23,7	42,3	35,2
N <sub>35</sub>	7,2	34,2	65,0	60,7
N <sub>70</sub>	7,1	52,4	94,5	79,8
P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	7,3	23,9	46,5	39,9
N <sub>70</sub> K <sub>70</sub>	7,2	41,6	82,7	80,7
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub>	7,1	53,8	83,4	81,4
N <sub>35</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	7,2	36,7	75,4	66,6
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	7,0	56,2	80,7	83,3
N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	7,2	55,3	81,0	82,7
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>35</sub>	7,3	56,4	80,4	82,0
N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>70</sub>	7,1	56,2	80,1	82,3
<i>HIP<sub>05</sub></i>	0,3	2,6	4,5	4,6
2023 р.				
Без добрив (контроль)	21,7		35,0	39,3
N <sub>35</sub>	29,9		48,3	51,2
N <sub>70</sub>	32,0		55,8	57,1
P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	22,1		35,8	40,0
N <sub>70</sub> K <sub>70</sub>	32,6		57,1	57,9
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub>	32,9		57,4	57,6
N <sub>35</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	31,5		50,5	53,6
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	32,9		58,5	59,2
N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	32,6		58,2	59,0
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>35</sub>	32,4		59,1	58,7
<i>HIP<sub>05</sub></i>	1,5		2,7	2,6

При цьому на цей показник у фазу ВВСН 20 не впливало застосування добрив, крім 2023 р. Найвищу площу листків одного стебла рослини ячменю ярого формували у фазах ВВСН 50 і ВВСН 73. Необхідно відзначити, що на цей показник найбільше впливали системи удобрення з азотною складовою.

Площа листової поверхні змінювалась подібно до площі листків одного стебла ячменю ярого голозерного (табл. 6). Найменшою вона була у фазу ВВСН 20 – 2,1–4,4 тис. м<sup>2</sup>/га, а в 2023 р. – 13,6–32,1 тис. м<sup>2</sup>/га. В 2021–2022 рр. площа листків максимальною була в фазу ВВСН 50 – 20,9–86,4 тис. м<sup>2</sup>/га.

**Табл. 6. Площа листків ячменю ярого голозерного залежно від удобрення, тис. м<sup>2</sup>/га**

Варіант досліджу	Фаза росту й розвитку рослин			
	ВВСН20	ВВСН30	ВВСН50	ВВСН73
2021 р.				
Без добрив (контроль)	4,0	14,6	28,2	26,5
N <sub>35</sub>	4,3	27,3	47,6	45,1
N <sub>70</sub>	4,3	59,6	76,4	69,3
P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	4,1	11,5	38,4	34,9
N <sub>70</sub> K <sub>70</sub>	4,3	60,2	80,4	75,6
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub>	4,4	59,9	81,0	73,8
N <sub>35</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	4,3	37,4	57,1	55,8
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	4,3	61,1	86,4	80,6
N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	4,4	60,1	85,0	79,1
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>35</sub>	4,4	60,6	84,0	78,6
N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>70</sub>	4,4	60,4	84,3	79,3
<i>HIP<sub>05</sub></i>	0,2	2,4	3,8	3,2
2022 р.				
Без добрив (контроль)	2,1	17,2	20,9	16,7
N <sub>35</sub>	2,3	29,2	39,8	33,7
N <sub>70</sub>	2,3	53,0	74,7	58,4
P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	2,2	21,4	31,0	20,9
N <sub>70</sub> K <sub>70</sub>	2,4	44,2	68,7	63,1
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub>	2,3	56,7	68,7	63,7
N <sub>35</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	2,4	32,4	49,2	40,0
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	2,3	60,7	68,7	67,2
N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	2,4	59,5	68,4	65,4
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>35</sub>	2,4	61,0	68,4	65,6
N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>70</sub>	2,3	60,6	68,1	66,0
<i>HIP<sub>05</sub></i>	0,1	2,3	3,3	3,0
2023 р.				
Без добрив (контроль)	13,6		11,6	11,9
N <sub>35</sub>	22,3		20,3	20,6
N <sub>70</sub>	29,5		24,3	24,0
P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	14,7		16,9	18,5
N <sub>70</sub> K <sub>70</sub>	30,8		25,8	25,2
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub>	31,2		26,0	25,2
N <sub>35</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	23,5		21,6	22,1
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	31,5		26,6	26,4
N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	30,6		26,7	25,9
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>35</sub>	30,6		27,3	25,9
<i>HIP<sub>05</sub></i>	1,8		1,5	1,4

Застосування добрив значно збільшувало площу листової поверхні ячменю ярого. Так, у фазу ВВСН 50 в 2021 р. цей показник зростав від 28,2 до 86,5 тис. м<sup>2</sup>/га або в 3,1 рази, у 2022 р. – від 20,9 до 68,7 (3,3 рази), а в 2023 р. – від 11,6 до 26,7 тис. м<sup>2</sup>/га (2,3 рази) за внесення повного мінерального добрива (N<sub>70</sub>P<sub>60</sub>K<sub>70</sub>). Найменше на площу листків впливало застосування фосфорно-калійної системи удобрення – 16,9–38,4 тис. м<sup>2</sup>/га. Найвищий сумарний ФПП отримано за вирощування ячменю ярого в 2021 р. – 638–2076 тис. м<sup>2</sup>/га·діб, дещо меншим він був у 2022 р. – 548–1935 тис. м<sup>2</sup>/га·діб (табл. 7).

**Табл. 7. ФПП ячменю ярого голозерного залежно від удобрення, тис. м<sup>2</sup>/га·діб**

Варіант досліджу	Фаза росту й розвитку рослин				Сумарний ФПП
	ВВСН20	ВВСН30	ВВСН50	ВВСН73	
2021 р.					
Без добрив (контроль)	22	241	150	225	638
N <sub>35</sub>	24	411	262	383	1081
N <sub>70</sub>	24	831	476	589	1920
P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	22	202	175	297	696
N <sub>70</sub> K <sub>70</sub>	24	839	492	643	1997
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub>	24	836	493	627	1980
N <sub>35</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	24	542	331	474	1371
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	24	851	516	685	2076
N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	24	838	508	673	2042
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>35</sub>	24	845	506	668	2044
N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>70</sub>	24	842	507	674	2047
<i>HIP<sub>05</sub></i>	<i>1</i>	<i>30</i>	<i>13</i>	<i>24</i>	<i>91</i>
2022 р.					
Без добрив (контроль)	13	212	114	209	548
N <sub>35</sub>	14	347	207	421	989
N <sub>70</sub>	14	608	383	730	1735
P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	13	260	157	262	692
N <sub>70</sub> K <sub>70</sub>	14	512	339	789	1654
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub>	14	650	376	796	1836
N <sub>35</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	14	382	245	501	1142
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	14	693	388	840	1935
N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	14	680	384	817	1895
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>35</sub>	14	697	388	820	1920
N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>70</sub>	14	693	386	825	1918
<i>HIP<sub>05</sub></i>	<i>1</i>	<i>22</i>	<i>10</i>	<i>29</i>	<i>83</i>
2023 р.					
Без добрив (контроль)	246	113	119	478	
N <sub>35</sub>	390	192	206	788	
N <sub>70</sub>	505	242	240	986	
P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	264	142	185	592	
N <sub>70</sub> K <sub>70</sub>	526	255	252	1033	
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub>	532	258	252	1042	
N <sub>35</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	408	203	221	833	
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	535	261	264	1060	
N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	522	258	259	1039	
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>35</sub>	521	261	259	1041	
N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>70</sub>	518	258	264	1040	

У 2023 р. ФПП був найменшим – 478–4060 тис. м<sup>2</sup>/га·діб.

Параметри верхівкового листка ячменю ярого змінювались залежно від погодних умов року дослідження та системи удобрення (табл. 8).

**Табл. 8. Параметри верхівкового листка ячменю ярого голозерного залежно від удобрення**

Варіант досліджу	Показник фотосинтезувальної системи			
	Довжина, см	Ширина, см	Площа одного листка, см <sup>2</sup>	Площа листків, тис. м <sup>2</sup> /га
2021 р.				
Без добрив (контроль)	10,2	0,8	5,5	2,2
N <sub>35</sub>	12,5	1,0	8,4	4,0
N <sub>70</sub>	16,3	1,1	12,0	7,2
P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	10,9	0,9	6,6	2,8
N <sub>70</sub> K <sub>70</sub>	16,4	1,1	12,1	7,7
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub>	16,3	1,1	12,0	7,7
N <sub>35</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	13,1	1,1	9,7	4,8
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	16,5	1,1	12,2	8,1
N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	16,4	1,0	11,0	7,0
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>35</sub>	16,3	1,1	12,0	7,7
<i>НІР<sub>05</sub></i>	0,7	0,1	0,3	0,2
2022 р.				
Без добрив (контроль)	7,6	0,9	4,6	1,6
N <sub>35</sub>	7,9	0,9	4,8	1,8
N <sub>70</sub>	8,0	0,9	4,8	2,4
P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	7,7	0,9	4,6	1,8
N <sub>70</sub> K <sub>70</sub>	8,4	0,9	5,1	2,7
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub>	8,5	0,9	5,1	2,7
N <sub>35</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	8,2	0,9	4,9	2,0
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	8,9	0,9	5,4	3,0
N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	8,8	0,9	5,3	2,9
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>35</sub>	8,9	0,9	5,4	2,9
<i>НІР<sub>05</sub></i>	0,2	0,1	0,2	0,2
2023 р.				
Без добрив (контроль)	8,2	0,8	4,4	1,2
N <sub>35</sub>	8,6	0,8	4,6	1,3
N <sub>70</sub>	9,0	0,9	5,4	1,9
P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	8,5	0,8	4,6	1,3
N <sub>70</sub> K <sub>70</sub>	9,2	0,9	5,5	2,1
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub>	9,3	0,9	5,6	2,1
N <sub>35</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	9,0	0,9	5,4	1,6
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	9,5	0,9	5,7	2,2
N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	9,4	0,9	5,7	2,1
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>35</sub>	9,5	0,9	5,7	2,1
<i>НІР<sub>05</sub></i>	0,2	0,1	0,2	0,2

За сприятливіших умов 2021 р. площа верхівкових листків була найбільшою, а в 2022–2023 рр. – найменшою. У 2021 р. цей показник зростав у 3,7 рази, у 2022 р. – у 1,9, а в 2023 р. – в 1,8 рази порівняно з неудобреними ділянками. При цьому найвищу ефективність мали системи удобрення, які містили азотну складову.

Чиста продуктивність фотосинтезу ячменю ярого голозерного знижувалась від 12,4 у варіанті без добрив до 6,9–12,2 г/м<sup>2</sup> площі листків залежно від системи удобрення (табл. 9).

**Табл. 9. Чиста продуктивність фотосинтезу ячменю ярого голозерного залежно від удобрення, г/м<sup>2</sup>**

Варіант досліджу	Рік дослідження			Середнє
	2021	2022	2023	
Без добрив (контроль)	11,8	11,8	13,5	12,4
N <sub>35</sub>	7,8	8,1	11,4	9,1
N <sub>70</sub>	4,6	5,2	9,7	6,5
P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	10,7	11,0	14,9	12,2
N <sub>70</sub> K <sub>70</sub>	4,4	5,9	10,8	7,0
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub>	4,4	5,2	11,0	6,9
N <sub>35</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	6,0	7,5	13,1	8,9
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	4,0	5,2	11,5	6,9
N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	3,9	5,2	11,6	6,9
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>35</sub>	4,1	5,1	11,7	7,0
N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>70</sub>	4,1	5,2	11,5	6,9
<i>НІР<sub>05</sub></i>	<i>0,2</i>	<i>0,2</i>	<i>0,4</i>	–

Найменше знижувало його застосування лише фосфорних і калійних добрив. За систем удобрення з азотною складовою чиста продуктивність фотосинтезу була на рівні 6,9–9,1 г/м<sup>2</sup>. Чиста продуктивність фотосинтезу змінювалась упродовж років досліджень. Так, у 2021 р. вона знижувалась найбільше – від 11,8 до 3,9 г/м<sup>2</sup>, у 2022 р. – від 11,8 до 5,1, а в 2023 р. – від 13,5 до 10,8 г/м<sup>2</sup> залежно від варіанту досліджу.

Розрахунки свідчать, що маса врожаю зерна ячменю ярого на одиницю площі листової поверхні знижувалась від застосування добрив (табл. 10).

**Табл. 10. Маса врожаю зерна ячменю ярого голозерного залежно від удобрення, г/м<sup>2</sup> площі листової поверхні**

Варіант досліджу	Рік дослідження			Середнє
	2021	2022	2023	
Без добрив (контроль)	5,1	3,6	4,0	4,2
N <sub>35</sub>	3,1	2,6	3,6	3,1
N <sub>70</sub>	1,6	1,8	3,2	2,2
P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	4,1	3,4	4,5	4,0
N <sub>70</sub> K <sub>70</sub>	1,6	2,0	3,6	2,4
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub>	1,6	1,8	3,7	2,4
N <sub>35</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	2,3	2,4	4,1	2,9
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>70</sub>	1,4	1,8	3,8	2,3
N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>35</sub>	1,4	1,8	3,9	2,4
N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>35</sub>	1,4	1,8	3,9	2,4
N <sub>70</sub> P <sub>30</sub> K <sub>70</sub>	1,5	1,8	3,8	2,4
<i>НІР<sub>05</sub></i>	<i>0,1</i>	<i>0,1</i>	<i>0,2</i>	–

Так, у середньому за три роки досліджень цей показник знижувався від 4,2 до 2,2 г/м<sup>2</sup> площі листків. При цьому чим більша доза азотних добрив, тим менша кількість зерна припадала на одиницю листової поверхні, що зумовлено значним зростанням асиміляційного апарату рослин. У 2021–2022 р. маса зерна на одиницю площі листків знижувалась сильніше порівняно з 2023 р.

**Висновки.** Застосування азотної складової окремо та сумісно з фосфорними або калійними добривами значно підвищує площу листової поверхні. При цьому її рівень змінюється залежно від погодних умов вегетаційного періоду. Так, в умовах більшої кількості опадів площа листків зростає від 26,5 до 45,1–80,6 тис. м<sup>2</sup>/га залежно від удобрення. У 2023 р. цей показник збільшується відповідно від 11,6 до 20,3–26,6 тис. м<sup>2</sup>/га.

### Література:

1. Chai R., Ye X., Ma C., Wang Q., Tu R., Zhang L., Gao H. Greenhouse gas emissions from synthetic nitrogen manufacture and fertilization for main upland crops in China. *Carbon Balance Manag.* 2019. Vol. 14. Article number 20.
2. Kakar K., Nitta Y., Asagi N., Komatsuzaki M., Shiotsu F., Kokubo T., Xuan T.D. Morphological analysis on comparison of organic and chemical fertilizers on grain quality of rice at different planting densities. *Plant Prod. Sci.* 2019. Vol. 22. P. 510–518.
3. 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.
4. Сіліфонов Т. В., Господаренко Г. М., Любич В. В., Полянецька І. О., Новіков В. В. Урожайність і якість зерна різностиглих сортів пшениці м'якої озимої за різних систем удобрення в сівозміні. *Агробіологія*. 2021. №2. С. 146–156.
5. Любич В. В., Полянецька І. О., Климович Н. М. Ураження пшениці м'якої ярої листовими хворобами залежно від рівня азотного живлення. *Агробіологія*. 2022. №1. С. 160–167.
6. Господаренко Г. М., Любич В. В., Бурляй О. Л., Притуляк Р. М. Агрохімічні властивості чорнозему опідзоленого за різних доз азотних добрив і їх поєднання з іншими видами мінеральних добрив. *Аграрні інновації*. 2022. №14. С. 18–22.
7. Majzoobi M., Jafarzadeh S., Teimouri S., Ghasemlou M., Hadidi M., Brennan C.S. The Role of Ancient Grains in Alleviating Hunger and Malnutrition. *Foods*. 2023. Vol. 12. Article number 2213.
8. Dang B., Zhang W.-G., Zhang J., Yang X.-J., Xu H.-D. Evaluation of Nutritional Components, Phenolic Composition, and Antioxidant Capacity of Highland Barley with Different Grain Colors on the Qinghai Tibet Plateau. *Foods*. 2022. Vol. 11. Article number 2025.
9. Господаренко Г. М., Любич В. В., Олійник О.О. Анізотропні властивості питомої активності радіонуклідів ґрунту та зерна пшениці м'якої озимої за тривалого застосування добрив. *Збірник Уманського НУС*. 2022. Вип. 100. С. 242–252.
10. Labudda M., Muszyńska E., Gietler M., Rózańska E., Rybarczyk-Płowska A., Fidler J., Prabucka B., Dababat A.A. Efficient antioxidant defence systems of spring barley in response to stress induced jointly by the cyst nematode

- parasitism and cadmium exposure. *Plant Soil*. 2020. Vol. 456. P. 189–206.
11. Любич В.В., Невлад В.І., Мартинюк А.Т. Продуктивність тритикале ярого за різних доз азотних добрив. *Агробіологія*. 2022. №1. С. 152–159.
  12. Choo T.M., Vigier B., Savard M.E., Blackwell B., Martin R., Wang J., Yang J., Abdel-Aal E.M. Black Barley as a Means of Mitigating Deoxynivalenol Contamination. *Crop Sci*. 2015. Vol. 55. P. 1096–1103.
  13. Любич В. В. Хвороби і шкідники різних сортів пшениці твердої озимої. *Збірник Уманського НУС*. 2022. Вип. 100. С. 7–16.
  14. Любич В. В. Хлібопекарські властивості зерна сортів пшениці озимої залежно від видів, норм і строків застосування азотних добрив. *Вісник Дніпропетровського ДАЕУ*. 2017. №2. С. 35–41.
  15. Любич В. В. Кормові властивості зерна тритикале ярого залежно від доз і строків застосування азотних добрив. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. 2019. Вип. 95. С. 8–17.
  16. Nowak R., Szczepanek M., Kobus-Cisowska J., Stuper-Szablewska K., Graczyk R., Błaszczuk K. Relationships Between Photosynthetic Efficiency and Grain Antioxidant Content of Barley Genotypes Under Increasing Nitrogen Rates. *Agriculture*. 2024. Vol. 14. Article number 1913.
  17. Господаренко Г. М., Мартинюк А. Т., Черно О. Д., Любич В. В. Екотоксикологічне оцінювання зерна пшениці озимої за тривалого (з 1965 р.) застосування добрив у польовій сівоzmіні. *Вісник Дніпропетровського ДАЕУ*. 2017. №4. С. 85–98.
  18. Barański M., Średnicka-Tober D., Volakakis N., Seal C., Sanderson R., Stewart G.B., Benbrook C., Biavati B., Markellou E., Giotis C., et al. Higher antioxidant and lower cadmium concentrations and lower incidence of pesticide residues in organically grown crops: A systematic literature review and meta-analyses. *Br. J. Nutr.* 2014. Vol. 112. P. 794–811.
  19. Ma D., Sun D., Li Y., Wang C., Xie Y., Guo T. Effect of nitrogen fertilisation and irrigation on phenolic content, phenolic acid composition, and antioxidant activity of winter wheat grain. *J. Sci. Food Agric.* 2015. Vol. 95. P. 1039–1046.
  20. Господаренко Г. М., Любич В. В., Полянецька І. О., Возіян В. В. Хлібопекарські властивості зерна спельти залежно від удобрення. *Вісник Уманського НУС*. 2015. № 1. С. 11–16.
  21. Sun Y., Guo J., Li Y., Luo G., Li L., Yuan Y., Mur L.A.J., Guo S. Negative effects of the simulated nitrogen deposition on plant phenolic metabolism: A meta-analysis. *Sci. Total Environ.* 2020. Vol. 719. Article number 137442.
  22. Falcinelli B., Galieni A., Tosti G., Stagnari F., Trasmundi F., Oliva E., Scroccarello A., Sergi M., Del Carlo M., Benincasa P. Effect of Wheat Crop Nitrogen Fertilization Schedule on the Phenolic Content and Antioxidant Activity of Sprouts and Wheatgrass Obtained from Offspring Grains. *Plants*. 2022. Vol. 11. Article number 2042.
  23. Любич В. В. Біологічна цінність білка пшениці спельти залежно від походження сорту та лінії. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. 2016. Вип. 89. С. 199–206.
  24. Szczepanek M., Nowak R., Błaszczuk K. Physiological and Agronomic Characteristics of Alternative Black Barley Genotypes (*Hordeum vulgare* var. nigricans and H. v. var. rimpai) under Different Hydrothermal Conditions of the Growing Seasons. *Agriculture*. 2023. Vol. 13. Article number 2033.
  25. Любич В. В., Сторожик Л. І., Войтовська В. І., Терещенко І. С.,

Лосєва А. І. Агробіологічні параметри різних сортів і гібридів сорго цукрового. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2021. Т. 17. № 3. С. 193–198.

### References:

1. Chai, R., Ye, X., Ma, C., Wang, Q., Tu, R., Zhang, L., Gao, H. (2019). Greenhouse gas emissions from synthetic nitrogen manufacture and fertilization for main upland crops in China. *Carbon Balance Manag*, no. 14, 20.
2. Kakar, K., Nitta, Y., Asagi, N., Komatsuzaki, M., Shiotsu, F., Kokubo, T., Xuan, T.D. (2019). Morphological analysis on comparison of organic and chemical fertilizers on grain quality of rice at different planting densities. *Plant Prod. Sci.*, no. 22, pp. 510–518.
3. 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].
4. Silifonov, T. V., Gospodarenko, H. M., Lyubich, V. V., Polyanetska, I. O., Novikov, V. V. (2021). Yield and quality of grain of soft winter wheat varieties of varying maturity under different fertilization systems in crop rotation. *Agrobiology*, no. 2, pp. 146–156. [in Ukrainian].
5. Lyubich, V. V., Polyanetska, I. O., Klymovych, N. M. (2022). Affection of soft spring wheat by foliar diseases depending on the level of nitrogen nutrition. *Agrobiology*, no. 1, pp. 160–167. [in Ukrainian].
6. Gospodarenko, G. M., Lyubich, V. V., Burlyai, O. L., Prytulyak, R. M. (2022). Agrochemical properties of podzolized chernozem with different doses of nitrogen fertilizers and their combination with other types of mineral fertilizers. *Agrarian innovations*, no. 14, pp. 18–22. [in Ukrainian].
7. Majzoobi, M., Jafarzadeh, S., Teimouri, S., Ghasemlou, M., Hadidi, M., Brennan, C.S. (2023). The Role of Ancient Grains in Alleviating Hunger and Malnutrition. *Foods*, no. 12, 2213. (in English).
8. Dang, B., Zhang, W.-G., Zhang, J., Yang, X.-J., Xu, H.-D. (2022). Evaluation of Nutritional Components, Phenolic Composition, and Antioxidant Capacity of Highland Barley with Different Grain Colors on the Qinghai Tibet Plateau. *Foods*, no. 11, 2025.
9. Gospodarenko, H. M., Lyubich, V. V., Oliynyk, O. O. (2022). Anisotropic properties of the specific activity of soil radionuclides and soft winter wheat grain during long-term fertilizer application. *Collection of the Uman NUS*, no. 100, pp. 242–252. [in Ukrainian].
10. Labudda, M., Muszyńska, E., Gietler, M., Rózańska, E., Rybarczyk-Płońska, A., Fidler, J., Prabucka, B., Dababat, A. A. (2020). Efficient antioxidant defence systems of spring barley in response to stress induced jointly by the cyst nematode parasitism and cadmium exposure. *Plant Soil*, no. 456, pp. 189–206.
11. Lyubich, V. V., Nevlad, V. I., Martyniuk, A. T. (2022). Productivity of spring triticale under different doses of nitrogen fertilizers. *Agrobiology*, no. 1, pp. 152–159. [in Ukrainian].
12. Choo, T.M., Vigier, B., Savard, M. E., Blackwell, B., Martin, R., Wang, J., Yang, J., Abdel-Aal, E. M. (2015). Black Barley as a Means of Mitigating Deoxynivalenol Contamination. *Crop Sci.*, no. 55, pp. 1096–1103.
13. Lyubich, V. V. (2022). Diseases and pests of different varieties of hard winter wheat. *Collection of scientific works of the Uman NUH*, no. 100, pp. 7–16. [in Ukrainian].



14. Liubych, V. V. (2017). Baking properties of grain of winter wheat varieties depending on types, norms and terms of nitrogen fertilizers application. *Bulletin of Dnipropetrovsk DAEU*, no. 2. pp. 35–41. [in Ukrainian].
15. Liubych, V. V. (2019). Fodder properties of spring triticale grain depending on doses and terms of nitrogen fertilizers application. *Collection of scientific works of Uman NUH*, no. 95, pp. 8–17. [in Ukrainian].
16. Nowak, R., Szczepanek, M., Kobus-Cisowska, J., Stuper-Szablewska, K., Graczyk, R., Błaszczuk, K. (2024). Relationships Between Photosynthetic Efficiency and Grain Antioxidant Content of Barley Genotypes Under Increasing Nitrogen Rates. *Agriculture*, no. 14, 1913.
17. Hospodarenko, H. M., Martyniuk, A. T., Chernob, O. D., Liubych, V. V. (2017). Ecotoxicological evaluation of winter wheat grain for long-term (since 1965) application of fertilizers in field crop rotation. *Bulletin of Dnipropetrovsk State Agrarian University*, no. 4, pp. 85–98. [in Ukrainian].
18. Barański, M., Srednicka-Tober, D., Volakakis, N., Seal, C., Sanderson, R., Stewart, G. B., Benbrook, C., Biavati, B., Markellou, E., Giotis, C. (2014). Higher antioxidant and lower cadmium concentrations and lower incidence of pesticide residues in organically grown crops: A systematic literature review and meta-analysis. *Br. J. Nutr.*, no. 112, pp. 794–811.
19. Ma, D., Sun, D., Li, Y., Wang, C., Xie, Y., Guo, T. (2015). Effect of nitrogen fertilisation and irrigation on phenolic content, phenolic acid composition, and antioxidant activity of winter wheat grain. *J. Sci. Food Agric.*, no. 95, pp. 1039–1046.
20. Hospodarenko, G. M., Lyubich, V. V., Polyanetska, I. O., Voziyan, V. V. (2015). Baking properties of spelled grain depending on fertilizer. *Bulletin of Uman NUH*, no. 1, pp. 11–16. [in Ukrainian].
21. Sun, Y., Guo, J., Li, Y., Luo, G., Li, L., Yuan, Y., Mur, L.A.J., Guo, S. (2020). Negative effects of the simulated nitrogen deposition on plant phenolic metabolism: A meta-analysis. *Sci. Total Environ.*, no. 719, 137442.
22. Falcinelli, B., Galieni, A., Tosti, G., Stagnari, F., Trasmundi, F., Oliva, E., Scroccarello, A., Sergi, M., Del Carlo, M., Benincasa, P. (2022). Effect of Wheat Crop Nitrogen Fertilization Schedule on the Phenolic Content and Antioxidant Activity of Sprouts and Wheatgrass Obtained from Offspring Grains. *Plants*, no. 11, 2042.
23. Liubich, V. V. (2016). Biological value of spelt wheat protein depending on the origin of the variety and strain. *Bulletin of Uman NUH*, no. 89, pp. 199–206. [in Ukrainian].
24. Szczepanek, M., Nowak, R., Błaszczuk, K. (2023). Physiological and Agronomic Characteristics of Alternative Black Barley Genotypes (*Hordeum vulgare* var. *nigricans* and H. v. var. *rimpaii*) under Different Hydrothermal Conditions of the Growing Seasons. *Agriculture*, no. 13, 2033.
25. Lyubich, V. V., Storozhyk, L. I., Voitovska, V. I., Tereshchenko, I. S., Loseva, A. I. (2021). Agrobiological parameters of different varieties and hybrids of sugar sorghum. *Plant Varieties Studying and Protection*, no. 17(3), pp. 193–198. [in Ukrainian].

## Annotation

**Hospodarenko H. M., Liubych V. V., Nevlad V. I., Gavrylenko V. S.**

### **Fotosyntes system of plants of spring barley depending on fertilizing system**

**Purpose.** To determine the photosynthetic parameters of barley plants depending on the fertilization system.

**Methods:** Field, measurement, calculation and comparison, analysis, statistical.

**Results.** It should be noted that the application of fertilizers significantly increased the leaf surface area of bare-grain spring barley. Thus, in the VVSN 50 phase in 2021, this indicator increased from 28.2 to 86.5 thousand  $m^2/ha$  or 3.1 times, in 2022 – from 20.9 to 68.7, or 3.3 times, and in 2023 – from 11.6 to 26.7 thousand  $m^2/ha$ , or 2.3 times with the application of complete mineral fertilizer ( $N_{70}P_{60}K_{70}$ ). The application of the phosphorus-potassium fertilizer system had the least effect on the leaf area – 16.9–38.4 thousand  $m^2/ha$ . The highest total FPP was obtained when growing spring barley in 2021 – 638–2076 thousand  $m^2/ha\cdot day$ , it was somewhat lower in 2022 – 548–1935 thousand  $m^2/ha\cdot day$ . In 2023, the FPP was the smallest – 478–4060 thousand  $m^2/ha\cdot day$ . The parameters of the apical leaf of spring barley changed depending on the weather conditions of the year of study and the fertilization system. Under more favorable conditions, in 2021, the area of the apical leaves was the largest, and in 2022–2023 – the smallest. In 2021, this indicator increased by 3.7 times, in 2022 – by 1.9, and in 2023 – by 1.8 times compared to unfertilized areas. At the same time, fertilization systems containing a nitrogen component had the highest efficiency. Calculations show that the mass of spring barley grain yield per unit of leaf surface area decreased due to the use of fertilizers. Thus, on average over three years of research, this indicator decreased from 4.2 to 2.2  $g/m^2$  of leaf area. At the same time, the higher the dose of nitrogen fertilizers, the smaller the amount of grain per unit of leaf surface, which is due to a significant increase in the assimilation apparatus of plants. In 2021–2022, the mass of grain per unit of leaf area decreased more strongly compared to 2023.

**Conclusions.** The use of the nitrogen component separately and in combination with phosphorus or potassium fertilizers significantly increases the leaf surface area. At the same time, its level varies depending on the weather conditions of the growing season. Thus, in conditions of higher precipitation, the leaf area increases from 26.5 to 45.1–80.6 thousand  $m^2/ha$  depending on the fertilizer. In 2023, this indicator increases, respectively, from 11.6 to 20.3–26.6 thousand  $m^2/ha$ .

**Key words:** leaf length and width, number of leaves, photosynthetic potential, net productivity of photosynthesis.

## УРОЖАЙНІСТЬ ТА ЯКІСТЬ ЗЕРНА КУКУРУДЗИ ЗА РІЗНИХ ВИДІВ І ДОЗ ДОБРИВ

**В. В. СТОЦЬКИЙ**, здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти (доктор філософії)

Уманський національний університет садівництва

*Урожайність та якість зерна кукурудзи достовірно змінюється залежно від видів і доз добрив, рівень прояву яких визначається погодними умовами. У Правобережному Лісостепу доцільно застосовувати  $N_{80}P_{30}K_{55}$ , що забезпечує формування 11,82–15,72 т/га зерна з вмістом крохмалю 70,7–72,1 %, його збір – 8,42–11,11 т/га, вмістом білка – 7,1–9,2 %, його збір – 0,84–1,45 т/га.*

**Ключові слова:** системи удобрення, продуктивність, вміст білка, вміст крохмалю, вміст жиру.

**Вступ.** Кукурудза (*Zea mays* L.) є зерновою культурою, яка широко вирощується в усьому світі в різних агроекологічних середовищах [1]. Виробництво кукурудзи вимагає збалансування взаємодіючих факторів, пов'язаних із генотипом, навколишнім середовищем і практикою вирощування культур [2]. Оптимізація використання мінеральних добрив у системах виробництва кукурудзи є критично важливою для забезпечення прибутковості, продуктивності та екологічної стійкості [3].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Динамічне поглинання певних елементів живлення протягом вегетації та їх роль у формуванні окремих органів рослин є ключовим фактором у визначенні строків і способу внесення добрив [4]. Управління азотом та оцінка оптимальної норми мінеральних добрив є складними через численні взаємодії, які існують у динамічній системі ґрунт–рослина–атмосфера та невизначеність погоди [5].

Максимальна врожайність кукурудзи залежить від збалансованого живлення, причому азотне живлення є основною поживною речовиною, що обмежує врожайність кукурудзи та якість зерна [6]. Зміна ефективності використання азоту при високому введенні азоту в основному пов'язана зі зміною поглинання азоту, тоді як при низькому вмісті азоту можуть відігравати роль обидва компоненти ефективності удобрення, зокрема ефективність використання азоту, тобто врожайність зерна – поглинання азоту [7].

Значна взаємодія між ступенем дефіциту азоту та часом його застосування вказує на те, що не існує єдиного найкращого строку застосування азотних добрив [8]. Внесення азотних добрив (40% одночасно з сівбою та 60% у весняний період вегетації у фазу 8 листків) досягнуто найбільшої врожайності зерна кукурудзи порівняно із застосуванням одноразової дози навесні та в підживлення [9]. Ці автори дійшли висновку, що багаторазове застосування азоту є