

protection, assessing risks to ecosystems, and providing suggestions for minimizing negative impacts. Particular attention is paid to energy efficiency at enterprises, environmental monitoring, and implementation of sustainable development principles, including circular economy, recycling, bioconversion, and the transition to zero-waste technologies. The study analyzes the environmental policies of compound feed enterprises in various regions of Ukraine, identifies key issues in the implementation of environmental protection technologies, and presents recommendations for reducing environmental pressures through modernization of production processes, improvement of air and wastewater treatment systems, and increasing the efficiency of waste management. It is established that achieving environmental safety in compound feed production is possible only through a systematic approach that integrates environmental, economic, and technological solutions.

Key words: compound feed industry, ecology, environment, emissions, energy saving.

УДК: 633.11:631.81:632.956

DOI: 10.32782/2415-8240-2025-106-1-426-435

ФІЗІОЛОГІЧНІ ЗМІНИ В РОСЛИНАХ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ ЗА ДІЇ МІКРОБНИХ ПРЕПАРАТІВ

І. Б. ЛЕОНТЮК, кандидат сільськогосподарських наук,

М. І. ПАРУБОК, кандидат біологічних наук,

Л. В. РОЗБОРСЬКА, кандидат сільськогосподарських наук

Уманський національний університет

У статті висвітлено результати трирічних досліджень щодо впливу мікробіологічних препаратів на фізіолого-біохімічні показники та продуктивність пшениці озимої. Встановлено, що передпосівна обробка насіння біопрепаратами (Екофосфорин, Мікрогумін, Поліміксобактерин) сприяє активізації фотосинтетичних процесів, зростанню площі листової поверхні, вмісту хлорофілів та чистої продуктивності фотосинтезу. Найвищі значення цих показників спостерігалися у варіанті з Поліміксобактерином, де також зафіксовано максимальний приріст урожайності — до 34 % у порівнянні з контролем. Отримані результати підтверджують доцільність застосування мікробних препаратів як ефективного екологічного інструменту підвищення врожайності пшениці озимої.

Ключові слова: пшениця озима, мікробні препарати, площа листя, чиста продуктивність фотосинтезу, урожайність.

Постановка проблеми. Зернове виробництво в Україні займає провідне місце серед галузей національного господарства, адже саме воно забезпечує продовольчу стабільність та зміцнює економічну безпеку держави. Однак, упродовж останніх років на ефективність цієї сфери помітно впливають

несприятливі зміни клімату та обмеженість у ресурсному забезпеченні, зокрема матеріально-технічному. У зв'язку з цим зростає актуальність упровадження новітніх стратегій ведення зернового господарства, що мають ґрунтуватися на ресурсозберігаючих підходах та адаптації технологій до конкретних природно-кліматичних умов регіонів [1, 2]. У сучасних умовах особливої актуальності набувають наукові дослідження, спрямовані на пошук альтернативних та біологізованих методів підвищення врожайності рослин, що ґрунтуються на стимулюванні їхніх власних фізіолого-біохімічних процесів [3].

Однією з ключових зернових культур в Україні є пшениця озима. Підвищення її продуктивності та адаптивності до стресових умов є стратегічним завданням сучасного рослинництва і можливе лише шляхом впровадження інноваційних технологій вирощування. Важливе значення в цьому процесі відіграють сучасні препарати: бактеріальні добрива, стимулятори росту, гумусні та хелатні комплекси. Їх застосування сприяє підвищенню стійкості рослин до патогенів та абіотичних стресів, подовжує тривалість їх вегетаційного періоду, активізує широкий спектр внутрішньоклітинних метаболічних реакцій і стимулює реалізацію генетично зумовленого продуктивного потенціалу [4, 5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним із пріоритетних напрямів сучасної аграрної науки є пошук і впровадження альтернативних технологічних рішень у вирощуванні озимої пшениці, що ґрунтуються на принципах біологізації виробництва. Такі підходи сприяють не лише зниженню хімічного навантаження на агроєкосистеми, а й забезпечують стабілізацію фізіологічних механізмів адаптації рослин до стресових факторів довкілля [6].

Упродовж останніх років спостерігається зростання зацікавленості до альтернативних підходів у землеробстві та рослинництві, що передбачають активне впровадження біологічних методів захисту та живлення рослин. Особливу увагу приділяють бактеріальним препаратам з азотфіксуючими та фосформобілізуючими властивостями, які дають змогу істотно зменшити використання хімічних засобів захисту і скоротити дози мінеральних добрив [7].

Біопрепарати з фосформобілізуючими властивостями характеризуються вираженою антибіотичною активністю, що сприяє зниженню рівня захворюваності рослин. У порівнянні з азотфіксуючими мікроорганізмами, вони менш чутливі до температурних коливань, вологості та кислотності ґрунту. Водночас для ефективної дії їм необхідна наявність достатньої кількості органічної речовини в ґрунтовому середовищі [8].

Дослідженнями Аверчева О. В, Нікітенка М. П. доведено, що застосування біопрепаратів Хелафіт та Вермистим – К сприяло формуванню якісного та високого врожаю ячменю ярого. Крім того, дані біопрепарати стимулювали проростання насіння й інтенсивний розвиток рослин. Зокрема, вони забезпечували активацію кореневої системи, що покращує засвоєння поживних речовин. Також передпосівна обробка препаратами знижує ризик ураження ячменю патогенами, забезпечуючи природний захисний бар'єр, підвищує стійкість рослин до стресових чинників та дозволяє їм краще витримувати несприятливі погодні умови та інші стресові впливи [9].

Сучасні наукові дані свідчать про те, що фотосинтетична активність є ключовим чинником формування врожайності сільськогосподарських культур. Її ефективність значною мірою визначається кількістю пігментів, зокрема хлорофілів *a* та *b*, які виступають чутливими маркерами фізіологічного стану рослин. Рівень їх накопичення та функціональна здатність є важливими критеріями для оцінки потенціалу рослин до створення біомаси [10, 11].

Окрім хлорофілу, невід'ємною складовою фотосинтетичних систем є каротиноїди — пігменти з широким спектром функцій. Вони виконують роль допоміжних поглиначів світла, беручи участь у процесі фотосинтезу, а також забезпечують захист хлорофілу від пошкоджень, спричинених окисативним стресом під впливом негативних чинників довкілля. Ефективність дії каротиноїдів тісно пов'язана з умовами, у яких вирощуються рослини. Підвищення їх концентрації в листках часто розглядається як характерна ознака адаптаційної відповіді рослин на стресові умови середовища [12].

Аналіз літературних джерел свідчить, що вивчення впливу агротехнологічних заходів на фізіологічні процеси в рослинах пшениці озимої на сьогодні є актуальним напрямом досліджень.

Метою дослідження є створення агротехнологічних рішень, спрямованих на активізацію фізіологічних процесів у рослинах пшениці озимої з метою підвищення їхньої здатності до адаптації та забезпечення вищої врожайності.

Методика досліджень. Польові досліді проводили за стандартними методиками на навчально-виробничій базі Уманського національного університету протягом 2022–2024 років. Для досліджень використовували пшеницю озиму сорту Оберіг Миронівський. Ґрунт дослідної ділянки – чорнозем опідзолений, малогумусний, важкосуглинковий на лесі з вмістом гумусу 3,7 %, рН (у KCl) 5,4, гідролітичною кислотністю 3,19 смоль/кг, катіонною обмінною ємністю 31,4 смоль/кг. У ґрунті також визначено вміст легкогідролізованого азоту (за Корнфілдом) – 112 мг/кг, рухомого фосфору – 109 мг/кг, та калію – 124 мг/кг (за Чириковим). Облікова площа ділянки становила 50 м², дослід проводили з триразовою повторністю, варіанти розміщували послідовно.

В досліді використовували наступні препарати: Екофосфорин – комплексний біопрепарат з поєднанням азотфіксувальних, фосфатмобілізувальних, рістрегулювальних та імунопротекторних властивостей мікроорганізмів, які включають культуральну рідину штамів *Agrobacterium radiobacter* IMB B-7246 з концентрацією клітин не менше $2,0 \times 10^9$ кл/мл та *Bacillus megaterium* IMB B-7168 з концентрацією клітин не менше $1,0 \times 10^9$ кл/мл у співвідношенні 1 : 1. Препарат також може включати культуральну рідину *Azotobacter chroococcum* IMB B-7171 з концентрацією клітин не менше $0,5 \times 10^8$ кл/мл. Норма витрати становить 0,5-1,0 л/т; Поліміксобактерин – мікробний препарат призначений для поліпшення фосфорного живлення рослин. Механізм дії препарату пов'язаний із властивістю бактерій *Paenibacillus polymyxa* KB 5×10^9 КУО/г препарату продукувати фітогормони ауксинової, гіберелінової і цитокінінової природи, вітаміни групи В. Фітогормони стимулюють ріст і розвиток рослин, підвищують їх імунітет, активно впливають на формування і розвиток кореневої системи, її абсорбуючої здатності; Мікрогумін – спеціально

підготовлений торф із розмнoженими в ньому бактеріальними клітинами *Azospirillum brasilense* 410, титр не менше 2×10^9 КУО/г препарату, фізіологічно активні речовини біологічного походження (ауксини, цитокініни, амінокислоти, гумінові кислоти), мікроелементи в хелатованій формі та сполуки макроелементів у стартових концентраціях, які забезпечують збільшення польової схожості і енергії проростання насіння, сприяють формуванню розвиненої кореневої системи і активного рослинно-бактеріальної асоціації, інтенсифікують процес фотосинтезу у рослин.

Динаміку формування листової поверхні визначали у фазах кушіння, виходу в трубку, колосіння. На цій основі, враховуючи тривалість міжфазних періодів і середню площу листків визначали фотосинтетичний потенціал (ФПП). Площу асиміляційної поверхні визначали методом висічок. Фотосинтетичний потенціал визначали за формулою

$$\text{ФП} = \frac{Л1+Л2}{2 \times 1000} T,$$

де Л1, Л2 – площа листової поверхні в певні фази розвитку, тис. м²/га,
Т – довжина міжфазного періоду, доба.

Листковий індекс (ЛІ) посівів обчислювали як добуток площі листків пагонів на їх кількість на одиниці площі ділянки [13].

Облік врожаю здійснювали методом суцільного обмолочування пшениці озимої з кожної ділянки і наступним перерахунком на 100- відсоткову чистоту та 14-відсоткову вологість [14].

Результати досліджень. Підвищення врожайності сільськогосподарських культур тісно пов'язане з посиленням функціональної активності та ефективності роботи асиміляційного апарату рослин. Інтенсивність накопичення органічної маси визначається площею листової поверхні, яка формується на основі біометричних характеристик рослин і значною мірою залежить від умов їхнього живлення, а також тривалості активного функціонування листків. Основними чинниками, що впливають на врожайність, є розмір листової поверхні та тривалість її ефективної роботи – тобто здатність листків залишатися функціонально активними протягом тривалого часу. Потужність асиміляційного апарату та тривалість його діяльності відіграють ключову роль у забезпеченні ефективності фотосинтезу, що, у свою чергу, визначає кількісні й якісні характеристики врожаю.

Аналізуючи вплив інокуляції насіння мікробіологічними препаратами на динаміку наростання площі листків нами встановлено, що обробка насіння біологічними препаратами сприяла значному збільшенню площі листової поверхні у фазу кушіння, проте найвищі показники спостерігалися у варіантах з використанням Екофосфору та Поліміксобактерину – ці значення перевищували контроль на 10,3 та 11,9 тис. м²/га відповідно. Вхідження до складу біопрепаратів фітогормонів і мікроелементів стимулювало накопичення фотосинтетичних пігментів і активізувало асиміляційну здатність рослин. Подібна тенденція спостерігалася і в фазу виходу в трубку. У найефективнішому варіанті – за передпосівної обробки насіння Поліміксобактерином – площа листової поверхні перевищувала контрольний показник на 16,9 тис. м²/га.

Аналіз динаміки формування листкової поверхні озимої пшениці засвідчив, що максимальні значення спостерігалися у фазу колосіння, коли потреба рослин у продуктах фотосинтезу є найвищою. У всіх дослідних варіантах площа листя була більшою, ніж у контролі, однак найвище зростання зафіксовано за застосування Екофосфोरину та Поліміксобактерину – перевищення становило відповідно 14,6 та 18,5 тис. м²/га. Вивчення динаміки змін у періоди кушіння – вихід у трубку – колосіння показало поступове зростання площі листя в обробці Поліміксобактерином: від 11,9 тис. м²/га до 16,8 тис. м²/га та 18,5 тис. м²/га відповідно (табл. 1).

Табл. 1. Вплив мікробних препаратів на динаміку наростання площі листкової поверхні рослин пшениці озимої, (тис. м²/га), 2022–2024 рр.

Варіант досліджу	фаза кушіння	вихід в трубку	колосіння
Контроль (без обробки препаратами)	20,9	29,5	40,7
Екофосфорин	31,2	45,1	55,3
Мікрогумін	28,4	40,2	51,2
Поліміксобактерин	32,8	46,3	59,2

Фотосинтетична активність рослин є ключовим чинником їхньої врожайності й значною мірою визначається концентрацією пігментів у тканинах. Особливо важливу роль відіграють зелені пігменти — хлорофіли *a* і *b*, які слугують чутливими показниками фізіологічного стану рослин. Їхній вміст і функціональна активність є важливим критерієм потенціалу рослин до формування біомаси. Ці пігменти беруть участь у створенні структури фотосинтетичного апарату та відіграють провідну роль у фотохімічних і фотосинтетичних процесах, що забезпечують поглинання й перетворення енергії, необхідної для біосинтезу речовин, які забезпечують ріст і розвиток рослин [11].

Аналізуючи показники суми хлорофілів нами встановлено, що в результаті обробки насіння мікробними препаратами масова частка зелених пігментів значно зростала і перевищувало контрольний варіант на 14,8– 24,9 % залежно від досліджуваного препарату. Найвищі показники спостерігалися при обробці насіння Екофосфорином та Поліміксобактерином, при цьому сума хлорофілів становило 122,4 та 124,9 %, співвідношення хлорофілів *a* і *b* складало 2,17 та 2,25 (табл. 2).

Одним із важливих чинників формування врожаю озимої пшениці є чиста продуктивність фотосинтезу, яка відображає ефективність функціонування фотосинтетичного апарату не лише за біометричними показниками, але й за тривалістю активного функціонування листкового покриву. Застосування мікробних препаратів для передпосівної обробки насіння зумовлювало формування різних рівнів чистої продуктивності фотосинтезу, що визначалась за кількістю накопиченої абсолютно сухої речовини на одиницю площі за добу.

Табл. 2. Вплив мікробних препаратів на вміст масової частки зелених пігментів (суми хлорофілів а і b) в листках пшениці озимої, 2022–2024 рр.

Варіант досліджу	Хлорофіл			% до контролю	Співвідношення хлорофілів а і b
	а	b	сума а + b		
Контроль (без обробки препаратами)	1,691	0,673	2,911	100,0	1,31
Екофосфорин	2,039	0,980	3,563	122,4	2,17
Мікрогумін	2,023	1,204	3,342	114,8	2,09
Поліміксобактерин	2,056	1,401	3,636	124,9	2,25

У варіантах із застосуванням біопрепаратів спостерігалось посилене накопичення хлорофілів і цукрів, що сприяло збільшенню як сирової, так і сухої біомаси. У результаті цього показники чистої продуктивності фотосинтезу суттєво перевищували контрольні значення. Так, під впливом досліджуваних мікробних препаратів приріст цього показника становив 1,43, 1,31 та 1,63 г/м² за добу відповідно (табл. 3).

Табл. 3. Вплив мікробних препаратів на фотосинтетична продуктивність посівів пшениці озимої, 2022–2024 рр.

Варіант досліджу	Чиста продуктивність фотосинтезу, г/м ² за добу	Фотосинтетичний потенціал посіву, млн м ² – днів/га	Листковий індекс у фазі колосіння
Контроль (без обробки препаратами)	2,38	1,92	4,61
Екофосфорин	3,81	2,55	5,14
Мікрогумін	3,69	2,36	4,93
Поліміксобактерин	4,01	2,69	5,62

Встановлено тісний взаємозв'язок між фотосинтетичним потенціалом посівів і площею листової поверхні. Значний вплив на величину фотосинтетичного потенціалу виявила передпосівна обробка насіння: активізація життєдіяльності рослин та формування розвиненої кореневої системи з високою поглинальною здатністю сприяли покращенню цього показника. Найвищий фотосинтетичний потенціал – 2,69 млн м²·днів/га – було зафіксовано в обробці Поліміксобактерином.

Листковий індекс, який характеризує ступінь використання рослинами своєї листової поверхні, прямо корелює з рівнем чистої продуктивності фотосинтезу. У дослідних варіантах, де інтенсивність фотосинтезу була вищою, фіксували й підвищені значення листового індексу. Якщо у контролі цей показник становив 4,61, то за обробки насіння Екофосфорином, Мікрогуміном і Поліміксобактерином він дорівнював 5,14; 4,93 та 5,62 відповідно.

У зв'язку з економічними труднощами та екологічними ризиками, застосування дороговартісних хімічних препаратів у вирощуванні сільськогосподарських культур, зокрема пшениці озимої, поступово втрачає свою доцільність. У цьому контексті перспективним напрямом стає використання біологічних засобів, створених на основі грибів, бактеріальних мікроорганізмів та продуктів їхньої життєдіяльності. Свідченням цьому є кінцевий результат застосування мікробних препаратів, а саме врожайність досліджуваної культури (табл. 4).

Табл. 4. Вплив мікробних препаратів на урожайність пшениці озимої залежно від дії біопрепаратів, (т/га, 2022–2024 рр.).

Варіант досліджу	2022 р.	2023 р.	2024 р.	середнє
Контроль (без обробки препаратами)	4,10	4,26	4,33	4,23
Екофосфорин	5,20	5,40	5,45	5,35
Мікрогумін	4,80	5,00	4,95	4,92
Поліміксобактерин	5,50	5,70	5,80	5,67
<i>НІР₀₅</i>	0,18	0,21	0,19	—

У всіх варіантах досліджу, де застосовувалися мікробні препарати, урожайність зерна озимої пшениці перевищувала контрольний показник. Найвищу ефективність продемонструвало передпосівне оброблення насіння Поліміксобактерином, де середній приріст урожаю за роки дослідження становив 34 % порівняно з контролем. Застосування Екофосфору також забезпечувало стабільне підвищення врожайності протягом усього періоду досліджень, у середньому на 26,5 %. Дещо менший приріст урожайності спостерігався за використання Мікрогуміну – 16,3 % у порівнянні з контрольним варіантом.

Висновки. Таким чином, застосування мікробних препаратів в посівах пшениці озимої позитивно впливає на фізіологічні показники даної культури, зокрема сприяє активізації ростових процесів, підвищенню фотосинтетичної активності та наростанню листової поверхні на всіх етапах вегетації. Результати дослідження підтверджують перспективність використання мікробних препаратів як екологічно безпечної альтернативи хімічним засобам у технології вирощування пшениці озимої. Вони забезпечують не лише підвищення врожайності (26,5–34 %), а й покращення фізіолого-біохімічних показників, що є основою для сталого землеробства.

Література:

1. Дубицький О. Л., Дубицька А. О., Качмар О. Й, Вавринович О. В., Щерба М. М. Розвиток фотосинтетичних процесів та зернова продуктивність пшениці озимої за біологізованих систем удобрення. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2023. Вип. 74 (2). С. 39–49.

2. Morgun V. V., Prjadkina G. A. Efficiency of photosynthesis and prospects for increasing the productivity of winter wheat. *Fiziologija rastenij i genetika*. 2014. Vol. 46. № 4. P. 279–301.
3. Кудрявицька А. М. Вплив тривалого застосування добрив на продуктивність фотосинтезу та врожайність пшениці ярої. *Вісник аграрної науки*. 2016. Т. 94. Вип. 4. С. 24–27.
4. Zimmermann B., Claß-Mahler I., von Cossel M. Et al Mineral-ecological cropping systems — a new approach to improve ecosystem services by farming without chemical synthetic plant protection. *Agronomy*. 2021. Vol. 11. № 9. P. 1710. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091710>.
5. Hudeček M., Nožková V., Plíhalová L., Plíhal O. Plant hormone cytokinin at the crossroads of stress priming and control of photosynthesis. *Frontiers in Plant Science*. 2023. Vol. 13. Article No. 1103088. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1103088>.
6. Вінюков О. О., Бондарева О. Б., Чугрій Г. А. Особливості реалізації потенціалу продуктивності сортів пшениці озимої в агрокліматичних умовах Донецької області. *Таврійський науковий вісник*. 2018. Вип. 102. С. 9–14.
7. Созінов О. О., Патица В. П., Тараріко О. Г. Рекомендації по комплексному застосуванню біопрепаратів на основі азотфіксуючих, фосформобілізуєчих мікроорганізмів, фізіологічно-активних речовин і біологічних засобів захисту рослин. Ін-т агробіології та біотехнології УААН, Ін-т с.-г. мікробіології. Київ, 2000. 40 с.
8. Волощук О. П., Волощук О. С., Глива В. В. та ін. Бактеріальні препарати в технології вирощування насіння пшениця озимої в західному лісостепу України. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2020. № 67(1). С. 25–38.
9. Аверчев О. В., Нікітенко М. П. Вплив передпосівної обробки насіння біопрепаратами на продуктивність ячменя ярого. *Таврійський науковий вісник*. 2024. Вип. 135. Ч.1. С. 3–12.
10. Черенков А. В., Желязков О. І., Хорішко С. А., Козельський О. М. Фотосинтетична діяльність рослин пшениці озимої залежно від технологічних прийомів вирощування в умовах північного Степу України. *Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони*. 2015. №8. С. 73–77.
11. Вінюков О. О., Чугрій Г. А., Поплевко В. І., Шульц П., Склипа Н. Л. Вплив мікробіологічних препаратів на фізіологічні процеси формування зернової продуктивності пшениці озимої. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2022. №2. С. 11–20.
12. Короткова І. В. та ін. Вміст фотосинтетичних пігментів у рослинах пшениці полби як критерій продуктивності за традиційної та органічної технологій вирощування. *Innovative Biosystems and Bioengineering: international scientific e-journal*. 2022. V. 6. № 1. P. 31–39.
13. Грицаєнко З. М., Грицаєнко А. О., Карпенко В. П. Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів. К: ЗАТ «Нічлава», 2013. 320 с.
14. Єщенко В. О., Копитко П. Г., Опришко В. П., Костоґриз П. В. Основи наукових досліджень в агрономії: підручник / за ред. В.О. Єщенка. К., Дія, 2005. 288 с.

References:

1. Dubytskyi, O. L., Dubytska, A. O., Kachmar, O. Y., Vavrynovych, O. V., Shcherba, M. M. (2023). Development of photosynthetic processes and grain productivity of winter wheat under biologized fertilization systems. *Foothill and Mountain Farming and Animal Husbandry*, issue 74(2), pp. 39–49. [in Ukrainian].
2. Morgun, V. V., Prjadkina, G. A. (2014). Efficiency of photosynthesis and prospects for increasing the productivity of winter wheat. *Plant Physiology and Genetics*, vol. 46, no. 4, pp. 279–301.
3. Kudriavytska, A. M. (2016). Effect of long-term fertilization on photosynthetic productivity and yield of spring wheat. *Bulletin of Agrarian Science*, vol. 94, issue 4, pp. 24–27. [in Ukrainian].
4. Zimmermann, B., Claß-Mahler, I., von Cossel, M. et al. (2021). Mineral-ecological cropping systems – a new approach to improve ecosystem services by farming without chemical synthetic plant protection. *Agronomy*, vol. 11, no. 9. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091710>.
5. Hudeček, M., Nožková, V., Plíhalová, L., Plíhal, O. (2023). Plant hormone cytokinin at the crossroads of stress priming and control of photosynthesis. *Frontiers in Plant Science*, vol. 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1103088>.
6. Vinyukov, O. O., Bondareva, O. B., Chuhrii, H. A. (2018). Features of the realization of the productivity potential of winter wheat varieties in agroclimatic conditions of Donetsk region. *Tavria Scientific Bulletin*, issue 102, pp. 9–14. [in Ukrainian].
7. Sozinov, O. O., Patyka, V. P., Tarariko, O. H. (2000). Recommendations for integrated use of biopreparations based on nitrogen-fixing, phosphorus-mobilizing microorganisms, physiologically active substances, and biological plant protection agents. Kyiv: Institute of Agrobiology and Biotechnology UAAS, Institute of Agricultural Microbiology. 40 p. [in Ukrainian].
8. Voloshchuk, O. P., Voloshchuk, O. S., Hlyva, V. V. et al. (2020). Bacterial preparations in the technology of winter wheat seed production in the Western Forest-Steppe of Ukraine. *Foothill and Mountain Farming and Animal Husbandry*, no. 67(1), pp. 25–38. [in Ukrainian].
9. Averchev, O. V., Nikitenko, M. P. (2024). Effect of seed pre-treatment with biopreparations on the productivity of spring barley. *Tavria Scientific Bulletin*, issue 135, Part 1, pp. 3–12. [in Ukrainian].
10. Cherenkov, A. V., Zhelyazkov, O. I., Khorishko, S. A., Kozelsky, O. M. (2015). Photosynthetic activity of winter wheat plants depending on technological cultivation methods in the northern Steppe of Ukraine. *Bulletin of the Institute of Agriculture of Steppe Zone*, no. 8, pp. 73–77. [in Ukrainian].
11. Vinyukov, O. O., Chuhrii, H. A., Poplevko, V. I., Shultz, P., Sknypa, N. L. (2022). Effect of microbiological preparations on physiological processes of grain productivity formation of winter wheat. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, no. 2, pp. 11–20. [in Ukrainian].
12. Korotkova, I. V. et al. (2022). Content of photosynthetic pigments in spelt wheat plants as a productivity criterion under traditional and organic growing technologies. *Innovative Biosystems and Bioengineering: International Scientific e-Journal*, vol. 6, no. 1, pp. 31–39.

13. Hrytsaienko, Z. M., Hrytsaienko, A. O., Karpenko, V. P. (2013). Methods of biological and agrochemical research of plants and soils. Kyiv: ZAT Nichlava. 320 p. [in Ukrainian].
14. Yeshchenko, V. O., Kopytko, P. H., Opryshko, V. P., Kostogryz, P. V. (2005). Fundamentals of scientific research in agronomy: textbook / edited by V. O. Yeshchenko. Kyiv: Diia. 288 p. [in Ukrainian].

Annotation

Leontiuk I. B., Parubok M. I., Rozborska L. V.

Physiological changes in winter wheat plants by the action of microbial preparations

The purpose of this study was to develop agro-technological strategies aimed at intensifying physiological processes in winter wheat plants in order to enhance their adaptive capacity and productivity under resource-limited and stress-prone growing conditions.

Field experiments were conducted during 2022–2024 at the educational and production base of Uman National University of Horticulture. The experimental design included four treatments: control (no biopreparation), and seed inoculation with Ecofosforin, Microhumin, and Polymixobacterin. The experiments were carried out on leached chernozem soils with specified agrochemical properties. Key indicators measured included leaf area dynamics at different growth stages (tillering, stem elongation, heading), photosynthetic pigment content (chlorophylls a and b), net photosynthetic productivity, leaf index, and final grain yield. Standard biometric and analytical methods were applied.

Seed treatment with microbial preparations significantly improved physiological traits of winter wheat. The highest values of leaf area were recorded with Polymixobacterin (up to 59.2 thousand m²/ha at heading), with a corresponding increase in photosynthetic potential (2.69 million m²·days/ha) and leaf index (5.62). The total chlorophyll content increased by 14.8–24.9% compared to the control, reaching a maximum with Polymixobacterin and Ecofosforin (3.636 and 3.563 mg/g, respectively). Enhanced photosynthetic pigment content and sugar accumulation contributed to increased net photosynthetic productivity: 4.01 g/m² per day in the Polymixobacterin treatment versus 2.38 g/m² in the control. Grain yield also increased significantly. The highest average yield (2022–2024) was achieved with Polymixobacterin — 5.67 t/ha, which exceeded the control by 34%. Ecofosforin and Microhumin increased yields by 26.5% and 16.3%, respectively.

The findings confirm the effectiveness of microbial preparations in enhancing the physiological and biochemical parameters of winter wheat, leading to increased photosynthetic activity and yield. The study supports the integration of microbial biostimulants into sustainable wheat production technologies as a viable alternative to synthetic inputs. Such approaches offer both agronomic and ecological benefits, particularly under stress-related and resource-constrained conditions.

Key words: Winter wheat, microbials, leaves area, pure photosynthesis productivity, yield.