

Influence of bioproducts on the yield and adaptive properties of soft winter wheat

S. Yurchenko | B. Palaziuk✉

Article info

Correspondence Author

B. Palaziuk

E-mail:

bohdan.palaziuk@pdau.edu.uaPoltava State Agrarian
University,
Skovoroda Str., 1/3,
Poltava, 36000, Ukraine**Citation:** Yurchenko, S., & Palaziuk, B. (2025). Influence of bioproducts on the yield and adaptive properties of soft winter wheat. *Scientific Progress & Innovations*, 28(4), 23–29. doi: 10.31210/spi2025.28.04.03

The article presents the results of scientific research on the study of the peculiarities of the formation of soft winter wheat grain under the influence of biostimulants and different growing conditions. Experimental tests were conducted according to the standard field experiment methodologies of in agriculture and crop production during 2022–2024 at the research farm of Poltava State Agrarian University. The objects of the study were biostimulator 1 (biostimix 'Recovery of vegetation' (biostart)) and biostimulator 2 (Smart Grow 'Restoration'). The main active components of the drugs were fulvic acids, fullerene and organic acids. Ammonium nitrate was used as nitrogen fertilizer ($\text{NH}_4 : \text{NO}_3 - 1 : 1$, 34.4 %). The objective of the research was to substantiate the expediency of using growth regulators based on fulvic acids, fullerene and organic acids in combination with nitrogen fertilizers in winter wheat cultivation. It has been established that the use of biostimulants increased the efficiency of nitrogen fertilizers, which was confirmed by the improvement of the elements of the ear performance. Thus, the use of biostimulator 1 on the background of N_{68} provided an increase in the variant only with ammonium nitrate (N_{68}): the amount of grains from the ear – by 9.3 %, the mass of grain from the ear – by 21.7 %, the mass of 1000 grains – by 3.2 %. The use of biostimulator 2 under the background of N_{68} contributed to the growth, respectively: the number of grains per ear – by 13.8 %, masses of grain per ear – by 17.4 %, weight of 1000 grains – by 1.2 %. The grain yield of soft winter wheat also increased due to the use of biostimulants: biostimulator 1 increased by 6.84 % and biostimulator 2 by 4.56 %. At the same time, the total efficiency of nitrogen nutrition increased by 10.4 % due to the action of biostimulator 1 and by 12.1 % with biostimulator 2. The correlation analysis revealed a close dependence between yield and the number of grains per ear ($r = 0.95$) as well as grain weight per ear ($r = 0.91$), and a moderate relationship with the weight of 1,000 grains ($r = 0.57$).

Keywords: mild winter wheat, biostimulants, grain yields, ear performance elements.

Вплив біостимуляторів на врожайність та адаптивні властивості пшениці м'якої озимої

С. О. Юрченко | Б. О. Палазюк

Полтавський державний
аграрний університет,
м. Полтава, Україна

У статті представлено результати наукових досліджень, присвячених вивченню особливостей формування врожайності зерна пшениці м'якої озимої під впливом біостимуляторів і різних умов вирощування. Експериментальні випробування проводили за стандартною методикою польових дослідів у галузі землеробства та рослинництва впродовж 2022–2024 років на базі дослідного господарства Полтавського державного аграрного університету. Об'єктами вивчення виступали: біостимулятор 1 (Біостімікс «Відновлення вегетації» (Біостарт)) та біостимулятор 2 (Smart Grow «Відновлення»). Основними діючими компонентами препаратів були фульвокислоти, фулерен та органічні кислоти. Як азотне підживлення застосовували аміачну селітру ($\text{NH}_4 : \text{NO}_3 - 1 : 1$, 34,4 %). Завданням досліджень стало обґрунтування доцільності використання регуляторів росту на основі фульвокислот, фулерену та органічних кислот у поєднанні з азотними добривами під час вирощування озимої пшениці м'якої. Встановлено, що застосування біостимуляторів підвищувало ефективність використання азотних добрив, що підтверджено покращенням показників елементів продуктивності колоса. Використання біостимулятора 1 на фоні N_{68} забезпечило збільшення відносно варіанта лише з аміачною селітрою (N_{68}): кількості зерен з колоса – на 9,3 %, маси зерна з колоса – на 21,7 %, маси 1000 зерен – на 3,2 %. Застосування біостимулятора 2 на фоні N_{68} сприяло зростанню відповідно: кількості зерен з колоса – на 13,8 %, маси зерна з колоса – на 17,4 %, маси 1000 зерен – на 1,2 %. Урожайність зерна пшениці м'якої озимої також зростала завдяки використанню біостимуляторів: біостимулятор 1 підвищив показник на 6,84 %, а біостимулятор 2 – на 4,56 %. При цьому загальна ефективність азотного живлення зросла завдяки дії біостимулятора 1 на 10,4 %, а біостимулятора 2 – на 12,1 %. Кореляційний аналіз показав наявність тісної залежності врожайності від кількості зерен у колосі ($r = 0,95$) та маси зерна з колоса ($r = 0,91$), а також середнього рівня зв'язку з масою 1000 зерен ($r = 0,57$).

Ключові слова: пшениця м'яка озима, біостимулятори, урожайність зерна, елементи продуктивності колоса.**Бібліографічний опис для цитування:** Юрченко С. О., Палазюк Б. О. Вплив біостимуляторів на врожайність та адаптивні властивості пшениці м'якої озимої. *Scientific Progress & Innovations*. 2025. № 28 (4). С. 23–29.

Вступ

Світова середня урожайність культур знижується в умовах кліматичної кризи, коли сільськогосподарські культури зазнають впливу абіотичних стресів, зокрема високі температури повітря та тривалі посухи спричиняють недобір урожаю [1, 2]. Водночас населення людства стрімко зростає з такою тенденцією, що до 2050 року населення планети буде складати 9,6 мільярда людей [3]. На фоні зниження врожайності виникає цілком ймовірна загроза продовольчій безпеці у світі [4].

Основною продовольчою культурою є пшениця м'яка (*Triticum aestivum* L.), яка має стратегічне значення у забезпеченні населення продуктами харчування. Зменшення світових валових зборів зерна пшениці призведе до зростання цін на хліб та інші вироби, зниження доступності їжі, посилення соціальної напруги, особливо у країнах з низьким рівнем доходів, а також негативно вплине на ринки кормів, тваринництва та пов'язані галузі економіки [5, 6].

Особливої актуальності набуває пошук шляхів зниження негативного впливу стресів на урожайність пшениці для збереження врожайності. Натепер основними засобами підвищення урожайності є застосування мінеральних добрив та пестицидів для захисту посівів від впливу біотичних факторів (небажана рослинність, хвороби, шкідники) [7, 8]. Попит на мінеральні добрива та хімічні засоби захисту рослин щороку зростає, а відповідний ринок розширюється, що негативно впливає на екологічну безпеку та якість продуктів харчування [9]. Отже, актуальним є пошук ефективних засобів і технологій, що сприяють збереженню та підвищенню врожайності пшениці з одночасним зменшенням негативного впливу на довкілля [10, 11]. Одним із перспективних шляхів є селекція та запровадження високоврожайних сортів, стійких до дії абіотичних чинників, а також застосування біологічних засобів, зокрема біостимуляторів.

Застосування біологічних стимуляторів при вирощуванні пшениці м'якої озимої є ефективним засобом для покращення врожайності, якості та стійкості до біотичного та абіотичного стресу [8, 12, 13].

Обсяг ринку біопрепаратів у світі, зокрема й в Україні, демонструє тенденцію до щорічного зростання на 7,4 % [14]. З'являються нові виробники та нові бренди біопрепаратів. Тому для створення сталих агротехнологій в умовах України, яка є одним з основних експортерів пшениці у світі [15], є важливим дослідження ефективності та вдосконалення застосування біологічних стимуляторів росту, що дозволить підвищити стійкість рослин до абіотичних стресів, зменшити залежність від хімічних засобів виробництва, поліпшити якість продукції та зберегти родючість ґрунтів у довгостроковій перспективі.

Біостимулятори – це органічні або неорганічні продукти, що містять біоактивні речовини та/або мікроорганізми, які при нанесенні на рослину або ризосферу стимулюють ріст і продуктивність рослини, покращуючи ефективність поглинання та засвоєння поживних речовин, стійкість до абіотичних

стресів та/або якість продукту незалежно від вмісту поживних речовин [16, 17].

Дослідники Maignan V. та ін. зазначають, що застосування різних біостимуляторів на основі амінокислот у поєднанні з азотними добривами призводить до кратного збільшення врожайності до 51,7 % завдяки збільшенню озерненості колоса. Вони наголошують, що складно встановити, за яким механізмом біостимулятори вплинули на підвищення урожайності, але дійшли висновку, що це відбувається за рахунок сильного впливу на розподіл азоту. Завдяки значному впливу біопрепаратів після стадії колосіння на поглинання та ефективність ремобілізації азоту, покращилась ефективність формування зерен та збільшилась їх кількість у колосі [18].

Підвищення ефективності використання пшеницею азотних добрив при застосуванні біостимуляторів підтверджують Li J, Ma H. та ін., вони дійшли висновку, що застосування препаратів на основі полісахаридного агенту морських водоростей та хітозану з неіоногенним активним агентом дозволяє заощаджувати 20 % азотних добрив без втрати продуктивності культури шляхом підвищення засвоєння азоту [19].

Дубицький О. та інші також визначають позитивну дію біостимулятора, що базується на вільних амінокислотах, при застосуванні у комплексі разом із використанням побічної продукції – соломи гороху + $N_{30}P_{45}K_{45}$ сумісно з гумусним або мікробіологічним добривом. Це дозволило отримати суттєве підвищення продуктивності посівів на рівні 52,3–59,4 % порівняно з варіантом без внесення [10].

Підвищення урожайності пшениці на 50–60 % можна досягти при застосуванні біологічних препаратів на основі водоростей (FERT-A) та гідролізату соєвого білка (FERT-H) нормою 2,5 л/га [20].

За даними Алмашова В. та Скок С. у випадку одноосібного застосування біорегулятора росту у фазу кушення в умовах Херсонської області спостерігається підвищення урожайності зерна пшениці на рівні 2,9 ц/га, приріст склав 16 % порівняно з варіантом без застосування препарату [21].

Шейко Д. у своїх дослідженнях зазначає, що при дворазовому застосуванні по вегетації біфунгіциду та біостимулятору на основі бактерій *Bacillus subtilis*, *Paenibacillus polymyxa*, грибів *Trichoderma viride*, *T. harzianum*, актинобактерії *Streptomyces* у трьох сортів спостерігається збільшення озерненості колоса на рівні 3–5 шт. з колоса порівняно з обробкою водою (контроль) [22].

У дослідженнях Власюк О. зазначено позитивну дію препарату на основі *B. subtilis*, *Azotobacter chroococcum*, *Paenibacillus polymyxa*, калій- і фосформобілізуючі бактерій, при застосуванні препарату по листу фіксується збільшення продуктивності на 5,9–9,2 % [23].

Також варто зазначити, що результати дослідження R. Qin, C. Noulas та ін., щодо застосування біологічних препаратів на пшениці м'якій озимій не підтверджують підвищення урожайності, а в окремих випадках свідчать про можливий негативний вплив, що призводить до зниження продуктивності посівів [24].

Отже, наведені вище факти з більшості досліджень свідчать про ефективність застосування біологічних препаратів і обґрунтовують доцільність їх ширшого впровадження у виробничу практику. Водночас фізіологічні механізми їх дії залишаються недостатньо вивченими. Велика кількість доступних на ринку препаратів із різним складом та принципом дії вимагає поглибленого наукового обґрунтування ефективності, вивчення впливу на ріст і розвиток рослин, а також адаптації технологій їх застосування до конкретних ґрунтово-кліматичних умов України. Тому дослідження у цьому напрямі є особливо актуальними для розвитку екологічно стійких технологій вирощування та підвищення сталості агро-виробництва.

Мета дослідження

Метою досліджень було наукове обґрунтування доцільності та ефективності застосування біологічних регуляторів росту на основі фульвокислот, фулерену та органічних кислот на фоні азотних добрив за умови вирощування пшениці м'якої озимої.

Завдання дослідження – дослідити особливості формування урожайності зерна пшениці м'якої озимої залежно від застосування біологічних регуляторів росту.

Матеріали і методи

Польові дослідження були проведені в період 2022–2024 років у дослідному господарстві Полтавського державного аграрного університету. Фізико-географічна зона – Центральна-Східний Лісостеп. Клімат: помірно-континентальний, класифікується як зона недостатнього зволоження. Ґрунт: чорнозем опідзолений.

Агрохімічна характеристика ґрунту:

- вміст гумусу – 3,9 %;
- азоту, що легко гідролізується (за Тюріним та Коновою) – 119,1–127,1 мг;
- P_2O_5 в ортофосфатній витяжці (за Чириковим) – 100,0–131,0 мг;
- обмінного калію (за Масловою) – 171,0–200,0 мг на кілограм ґрунту.

Щільність ґрунту – 1,05–1,17 г/см³.

Повторність дослідів чотирикротна. Площа ділянки: 13 м². Площа облікової ділянки: 10 м². Ділянки розміщували рандомізовано. Сівбу ділянок здійснювали селекційною сівалкою КЛЕН – 1,5, норма висіву 3,2 млн шт./га, глибина загорання – 3 см. Посів виконували в I декаді жовтня.

Сорт для дослідження: Манжелія, насіння очищене та відкаліброване за крупністю та питомою вагою, оброблене протруйником (25 г/л Флудіоксоніл 10 г/л металаксилу – М). Збирання проводили прямим комбайнуванням комбайном Sampo – 130, у фазу повної стиглості за наявності вологості 13,9 %.

Дослідження впливу біостимуляторів на фоні азотних добрив проводили за допомогою Біостимулятора 1 (Біостімікс Відновлення вегетації (Біостарт) та Біостимулятор 2 (Smart Grow Відновлення). Діючою речовиною препаратів є фульвокислоти, фулерен та органічних кислот. Як азотне добриво використовували аміачну селітру ($NH_4 : NO_3 - 1 : 1$, 34,4 %).

Схема дослідів включала такі варіанти:

1. Контроль (без добрив, обробка водою);
2. Біостимулятор 1 (1 л/га);
3. Біостимулятор 2 (1 л/га);
4. Аміачна селітра (N_{68});
5. Аміачна селітра (N_{68}) з подальшою обробкою біостимулятором 1 (дозою 1 л/га);
6. Аміачна селітра (N_{68}) з подальшою обробкою біостимулятором 2 (дозою 1 л/га).

Підживлення аміачною селітрою проводили з розрахунку 200 кг/га у фізичній вазі (68 кг/га діючої речовини азоту) по мерзлоталому ґрунту на визначених ділянках. Робочий розчин біостимуляторів готували з розрахунку 1 л препарату на 200 л води. Препарат вносили у фазу ВВСН 21 (весняне кущення) за допомогою ранцевого акумуляторного обприскувача з контрольованою нормою 0,25 л на ділянку, попередньо провівши калібрування норми виливу.

Оцінку продуктивності посівів оцінювали за допомогою аналізу снопових зразків. З кожної повторності з 1 м² суцільно відкопували рослини, підраховували та випадковим способом добирали 25 рослин та визначали кількість стебел, висоту рослини, довжину колоса, кількість зерен у колосі, масу зерен з колоса, масу 1000 зерен.

Для систематизації та демонстрації даних використовували MS Excel, статистичний аналіз проводили за допомогою програми Statistica 12.0.

Результати та їх обговорення

У період досліджень спостерігали вплив абіотичного стресу на посіви пшениці озимої. Зокрема, розподіл опадів у період весняної вегетації культури був не рівномірний (*рис. 1*).

У період весняно-літньої вегетації озимої пшениці 2023 року переважали сприятливі умови з помірною кількістю продуктивних опадів, особливо у квітні та липні. Водночас 2024 рік характеризується значно вищою кількістю сухих днів, низькою кількістю днів з продуктивними опадами (5–20 мм) та загальним дефіцитом вологи у критичні фази розвитку культури.

Фактор недостатньої кількості вологи посилювався на фоні днів з високими температурами (*рис. 2*). Найбільшу кількість днів з температурами вище +25°C спостерігали у червні, 13 днів 2023 року та 21 день 2024 року із середньою температурою по максимальних значеннях +27,1°C, під час фаз цвітіння та наливу зерна (ВВСН 61–79), дані фази є критичними для формування урожайності.

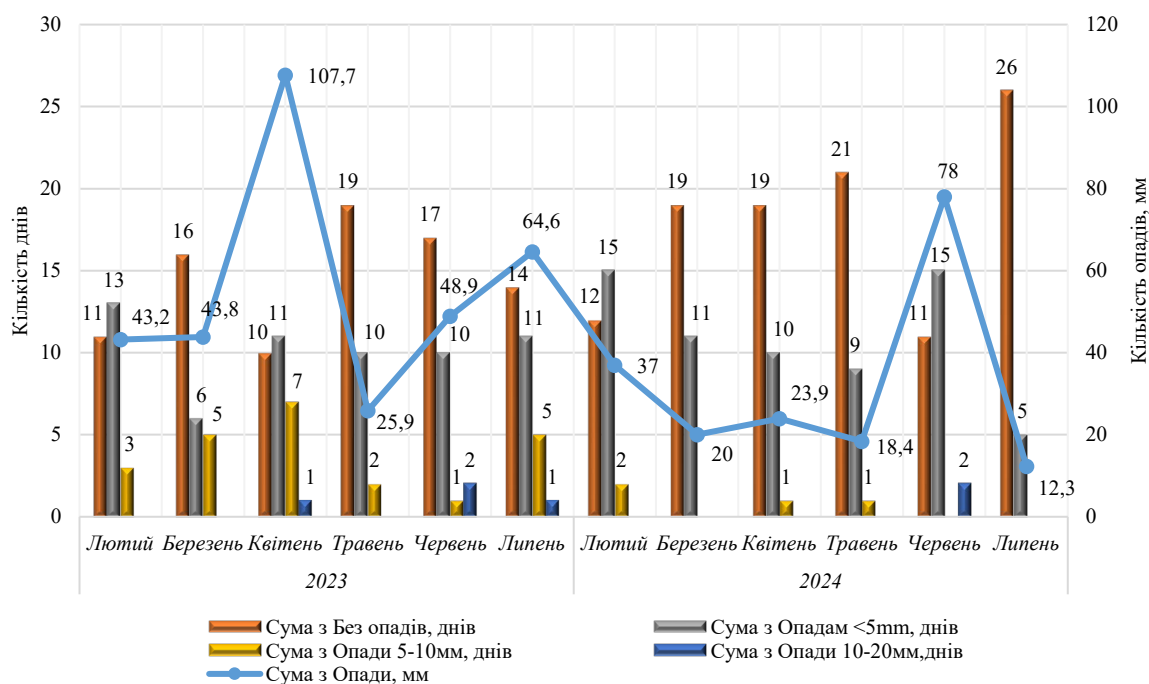


Рис. 1. Розподіл та кількість опадів у весняно-літній період вегетації пшениці м'якої озимої (2023–2024 рр.)

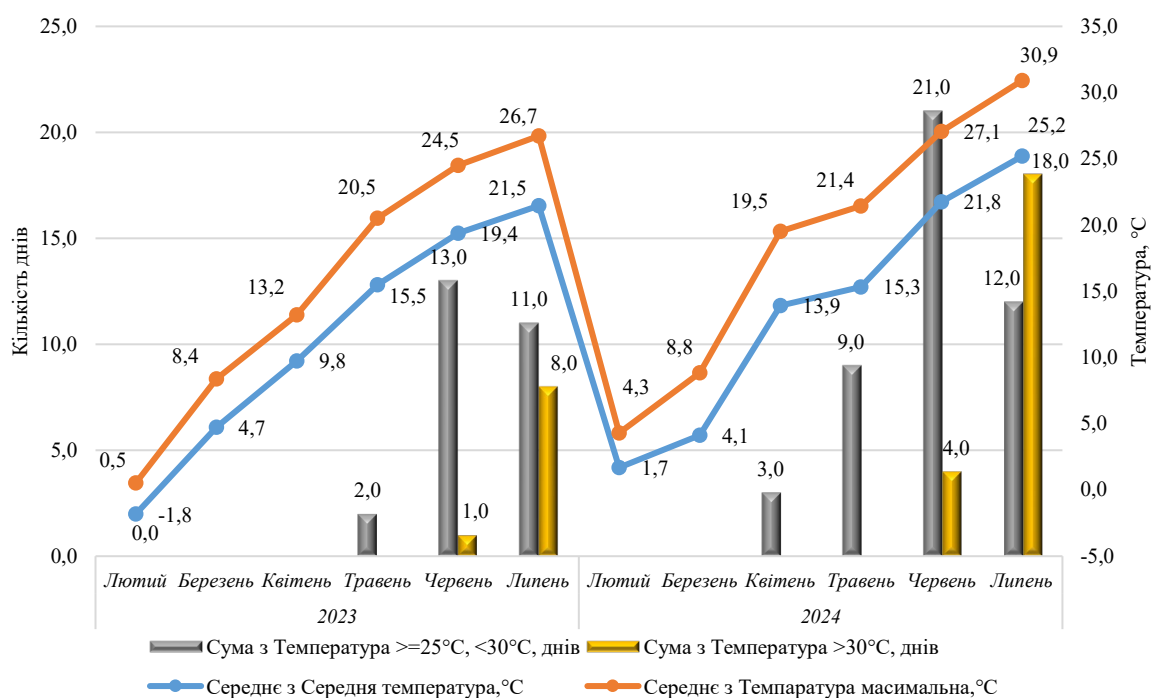


Рис. 2. Температурний режим та кількість днів із $T_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$ у весняно-літній період

Погодні умови мали стримувальний вплив на формування урожайності пшениці озимої, оскільки впродовж критичних фаз органогенезу рослини зазнавали дії абіотичних стресів. Встановлені кліматичні особливості відповідають меті дослідження, підтверджуючи значущість вивчення адаптивних реакцій культури при застосуванні біостимуляторів в умовах нестабільного зволоження та підвищених температур.

Головними складниками колоса, що визначають рівень урожайності, є кількість зерен у колосі (шт.),

маса зерна з колоса (г), маса 1000 зерен (г). Варто відмітити, що формування колоса пшениці озимої м'якої відбувається з III по VIII етапи органогенезу і залежить від погодних умов у цей період. Зважаючи на роль погодних умов за вегетаційний період не слід применшувати й значення агрозаходів на формування продуктивності колоса рослин. Одержані результати проведених досліджень вказують на ефективність досліджуваних факторів за умови формування зернової продуктивності колоса пшениці озимої м'якої (табл. 1).

Таблиця 1

Формування елементів продуктивності колоса пшениці м'якої озимої за умови використання біостимуляторів, (середнє за 2023–2024 рр.).

Варіант	Кількість зерен у колосі, шт.		Маса зерна з колоса, г		Маса 1000 зерен, г	
	шт.	відхилення, +,-	шт.	відхилення, +,-	шт.	відхилення, +,-
1*	19,7	-	0,96	-	42,6	-
2*	23,6	3,9	1,19	0,23	44,9	2,3
3*	22,5	2,8	1,15	0,19	44,7	2,1
4*	28,1	8,4	1,40	0,44	47,3	4,7
5*	30,7	11,0	1,55	0,59	48,8	6,2
6*	32,0	12,3	1,6	0,64	47,8	5,2
НІР _{0,95}	4,2		0,43		4,6	

Примітки: 1* – контроль (без добрив, обробка водою); 2* – біостимулятор 1 (1 л/га); 3* – біостимулятор 2 (1 л/га); 4* – аміачна селітра (N₆₈); 5* – аміачна селітра (N₆₈) + біостимулятор 1 (1 л/га); 6* – аміачна селітра (N₆₈) + біостимулятор 2 (1 л/га).

За середніми даними у варіантах з біостимулятор 1 і біостимулятор 2 відмічено несуттєвий приріст елементів продуктивності колоса: кількості зерен з колоса – на 3,9 шт., і 2,8 шт., маси зерна з колоса – на 0,23 г і 0,19 г, маси 1000 зерен – на 2,3 г і 2,1 г відповідно.

Застосування азотного добрива (N₆₈) у фазі весняного кушення пшениці м'якої озимої забезпечило формування рослин з кращою продуктивністю колоса порівняно з контрольним варіантом. Зокрема, суттєве збільшення: кількості зерен у колосі – на 8,4 шт., маси зерна з колоса – на 0,44 г, маси 1000 зерен – на 4,67 г. Досліджувані біостимулятори сприяли підвищенню ефективності підживлення азотним добривом, що підтверджується збільшенням показників елементів продуктивності колоса. У разі дії біостимулятор 1 на фоні (N₆₈) спостерігали збільшення порівняно з варіантом застосування аміачної селітри (N₆₈): кількості зерен з колоса – на 9,3 %, маси зерна з колоса – на 21,7 %, маси 1000 зерен – на 3,2 %. Біостимулятор 2 на фоні (N₆₈) забезпечив збільшення: кількості зерен з колоса – на 13,8 %, маси зерна з колоса – на 17,4 %, маси 1000 зерен – на 1,2 %.

Крім того, між урожайністю та елементами продуктивності колоса були встановлені кореляційні зв'язки. За результатами цього аналізу встановлено сильний зв'язок урожайності з кількістю зерен з колоса ($r = 0,95$), масою зерна з колоса ($r = 0,91$), та середній зв'язок з масою 1000 зерен ($r = 0,57$) (рис. 3, рис. 4 та рис. 5).

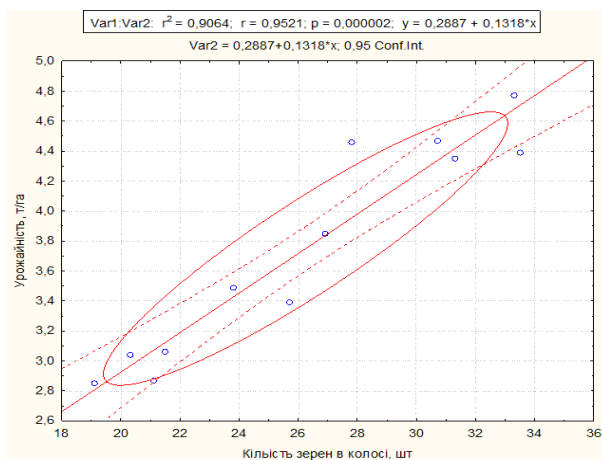


Рис. 3. Залежність урожайності від кількості зерен з колоса пшениці м'якої озимої (2023–2024 рр.)

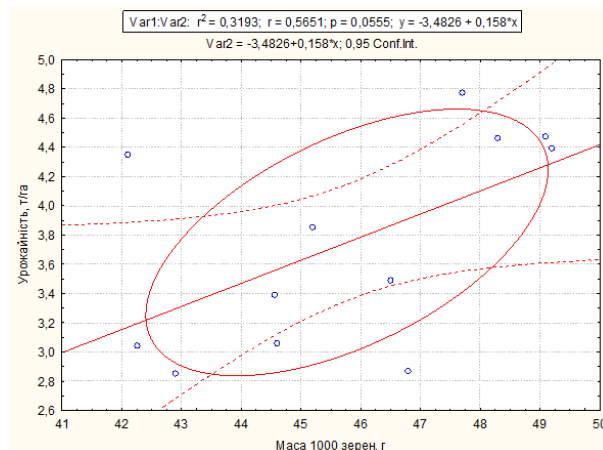


Рис. 4. Залежність урожайності від маси 1000 зерен пшениці м'якої озимої (2023–2024 рр.)

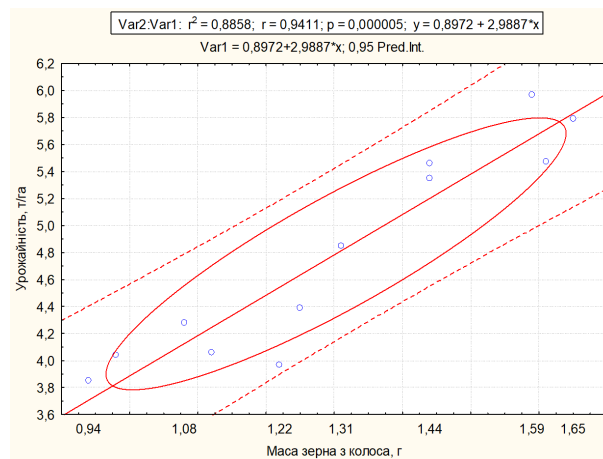


Рис. 5. Залежність урожайності від маси зерна з колоса пшениці м'якої озимої (2023–2024 рр.).

За умов зростання погодно-кліматичних ризиків біостимулятори є надійною підстраховкою від можливих втрат. Під час наших досліджень було з'ясовано, що використання досліджуваних біопрепаратів у фазі весняного кушення позитивно вплинуло на формування врожайності пшениці озимої (табл. 2).

Залежно від варіанту досліду і року досліджень урожайність пшениці м'якої озимої варіювала від 3,85 т/га (контроль, 2024 р.) до 5,97 т/га (аміачна селітра (N₆₈) + біостимулятор 2 (1 л/га), 2023 р.).

Таблиця 2

Формування урожайності пшениці м'якої озимої у разі використання біостимуляторів, т/га, 2023–2024 рр.

Варіант	2023 р.		2024 р.		Середнє за 2023–2024 рр.	
	т/га	приріст до контролю, т/га	т/га	приріст до контролю, т/га	т/га	приріст до контролю, т/га
1*	4,04		3,85		3,95	
2*	4,39	0,35	4,06	0,21	4,23	0,27
3*	4,28	0,24	3,97	0,12	4,13	0,18
4*	5,35	1,31	4,85	1,0	5,10	1,15
5*	5,79	1,75	5,46	1,61	5,63	1,68
6*	5,97	1,93	5,47	1,62	5,72	1,77
НІР _{0,95}		0,48		0,42		0,44

Примітки: 1* – контроль (без добрив, обробка водою); 2* – біостимулятор 1 (1 л/га); 3* – біостимулятор 2 (1 л/га); 4* – аміачна селітра (N₆₈); 5* – аміачна селітра (N₆₈) + біостимулятор 1 (1 л/га); 6* – аміачна селітра (N₆₈) + біостимулятор 2 (1 л/га).

Результати досліджень вказують на ефективність застосування біостимуляторів у фазі весняного кушення пшениці м'якої озимої. Зокрема, у середньому за два роки досліджень застосування біостимулятора 1 забезпечувало підвищення урожайності зерна до 4,23 т/га (на 0,27 т/га більше порівняно з контролем), а біостимулятора 2 – до 4,13 т/га (на 0,18 т/га більше порівняно з контролем). Крім цього, обприскування рослин досліджуваними біопрепаратами на фоні (N₆₈) сприяло підвищенню врожайності зерна на 0,53 т/га (10,4 %) і 6,2 т/га (12,1 %) порівняно з варіантом аміачна селітра (N₆₈).

Ефективність біостимуляторів змінювалася залежно від погодних умов вегетаційного періоду. 2024 року, що характеризувався дефіцитом вологи і високою температурою повітря, дія біостимуляторів була менш ефективною, про що свідчить приріст урожайності: біостимулятор 1 – 0,21 т/га, біостимулятор 2 – 0,12 т/га. 2023 року, що характеризувався сприятливими умовами з помірною кількістю продуктивних опадів та температурним режимом, приріст урожайності зерна за умови дії біостимулятора 1 складав 0,35 т/га, біостимулятора 2 – 0,24 т/га.

Висновки

За результатами порівняльного аналізу середніх даних 2023–2024 рр. було встановлено, що збільшенню врожайності зерна пшениці м'якої озимої сприяло застосування біостимуляторів. Зокрема, біостимулятор 1 забезпечив приріст на 6,84 %, біостимулятор 2 – на 4,56 %. Ефективність азотних добрив збільшувалася завдяки біостимулятору 1 – на 10,4 %, біостимулятору 2 – на 12,1 %.

За аналізом кореляційних залежностей було встановлено сильний зв'язок урожайності з кількістю зерен з колоса ($r = 0,95$), масою зерна з колоса ($r = 0,91$), та середній зв'язок з масою 1000 зерен ($r = 0,57$).

Перспективи подальших досліджень полягатимуть у вивченні закономірностей формування якості зерна пшениці м'якої озимої залежно від застосування біостимуляторів.

Конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів щодо їхнього викладу та результатів досліджень.

References

- Shevchenko, O. (2023). The impact of climate change on agricultural land use in Ukraine. *Balanced Nature Using*, 4, 108–114. <https://doi.org/10.33730/2310-4678.4.2023.292725>
- Ma, Y., Freitas, H., & Dias, M. C. (2022). Strategies and prospects for biostimulants to alleviate abiotic stress in plants. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1024243. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1024243>
- Hasanuzzaman, M., Parvin, K., Bardhan, K., Nahar, K., Anee, T. I., Masud, A. A. C., & Fotopoulos, V. (2021). Biostimulants for the regulation of reactive oxygen species metabolism in plants under abiotic stress. *Cells*, 10 (10), 2537. <https://doi.org/10.3390/cells10102537>
- Martínez-Lorente, S. E., Martí-Guillén, J. M., Pedreño, M. Á., Almagro, L., & Sabater-Jara, A. B. (2024). Higher plant-derived biostimulants: Mechanisms of action and their role in mitigating plant abiotic stress. *Antioxidants*, 13 (3), 318. <https://doi.org/10.3390/antiox13030318>
- Saudy, H. S., Hamed, M. F., Abd El-Momen, W. R., & Hussein, H. (2020). Nitrogen use rationalization and boosting wheat productivity by applying packages of humic, amino acids, and microorganisms. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 51 (8), 1036–1047. <https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1744631>
- Lutã, G., Madjar, R. M., Bălan, D., Scăteanu, G. V., & Ionescu, N. (2022). Effect of foliar fertilization on the quality parameters of wheat and maize crops. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, 65 (1), 396–401.
- Delitte, M., Caulier, S., Bragard, C., & Desoignies, N. (2021). Plant microbiota beyond farming practices: A review. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.624203>
- Kumari, M., Swarupa, P., Kesari, K. K., & Kumar, A. (2022). Microbial inoculants as plant biostimulants: a review on risk status. *Life*, 13 (1), 12. <https://doi.org/10.3390/life13010012>
- Pysarenko, V. M., Kovalenko, N. P., Pospelova, H. D., Pischalenko, M. A., Melnychuk, V. V., & Sherstiuk, E. L. (2020). Eco-balancing of arable farming as a first step to organic manufacturing of plant growing products. *Scientific Progress & Innovations*, 3, 109–117. <https://doi.org/10.31210/visnyk2020.03.12>
- Dubys'kyj, O., Kachmar, O., Dubys'ka, A., & Vavrynovych, O. (2020). Influence of environmental fertilizer systems on yield formation and grain quality of winter wheat. *Visnyk Agrarnoi Nauky*, 98 (7), 74–79. <https://doi.org/10.31073/agroviznyk202007-10>
- Laslo, O. O., & Nahorna, S. V. (2022). Ecological technologies for growing winter wheat using mixtures of growth regulators and complex fertilizers. *Agrarian Innovations*, 13, 93–96. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.13.14>
- Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, 3–14. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
- Omoarelojie, L. O., Kulkarni, M. G., Finnie, J. F., & Van Staden, J. (2021). Modes of action of biostimulants in plants. *Biostimulants for Crops from Seed Germination to Plant Development*, 445–459. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-823048-0.00015-0>
- Gupta, S., Bhattacharyya, P., Kulkarni, M. G., & Doležal, K. (2023). Editorial: Growth regulators and biostimulants: upcoming opportunities. *Frontiers in Plant Science*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1209499>

15. Pobochenko, L., Tatarenko, N., & Prokopieva, A. (2023). Current trends in the development of the world grain market in the conditions of war in Ukraine. *Economy and Society*, 48. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-48-29>
16. Roupshael, Y., & Colla, G. (2020). Editorial: Biostimulants in agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 11, 40. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040>
17. Franzoni, G., Cocetta, G., Prinsi, B., Ferrante, A., & Espen, L. (2022). Biostimulants on crops: Their impact under abiotic stress conditions. *Horticulturae*, 8 (3), 189. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8030189>
18. Maignan, V., Géliot, P., & Avicé, J.-C. (2021). Glutacetine® Biostimulant applied on wheat under contrasting field conditions improves grain number leading to better yield, upgrades n-related traits and changes grain ionome. *Plants*, 10 (3), 456. <https://doi.org/10.3390/plants10030456>
19. Li, J., Ma, H., Ma, H., Lei, F., He, D., Huang, X., Yang, H., & Fan, G. (2023). Comprehensive effects of N reduction combined with biostimulants on N use efficiency and yield of the Winter wheat–summer maize rotation system. *Agronomy*, 13 (9), 2319. <https://doi.org/10.3390/agronomy13092319>
20. Sirbu, C., Cioroianu, T. M., Ionescu, N., Marin, N., & Grigore, A. (2022). Effectiveness of biostimulants applied to wheat, sunflower and soybean crops. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, 65 (1), 520–525.
21. Almashova, V. S., & Skok, S. V. (2022). Effectiveness of application of biological preparations and plant growth regulators for growing agricultural crops in the Southern Steppe Zone of Ukraine. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Agronomy and Biology*, 47 (1), 11–17. <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.1.2>
22. Sheiko, D. (2023). Formation of winter wheat yield depending on the variety and method of treatment with biological preparations in the western Forest-Steppe of Ukraine. *SWorldJournal*, 1 (20-01), 140–147. <https://doi.org/10.30888/2663-5712.2023-20-01-034>
23. Vlasiuk, O. (2023). The influence of environmentally safe preparations on the yield and infection by winter wheat diseases in the conditions of the Right-Bank Forest Steppe. *Visnyk Agrarnoi Nauky*, 101 (4), 30–37. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202304-04>
24. Qin, R., Noulas, C., Wysocki, D., Liang, X., Wang, G., & Lukas, S. (2020). Application of plant growth regulators on soft white winter wheat under different nitrogen fertilizer scenarios in irrigated fields. *Agriculture*, 10 (7), 305. <https://doi.org/10.3390/agriculture10070305>

ORCID

S. Yurchenko 
B. Palaziuk 

<https://orcid.org/0000-0002-5812-3877>
<https://orcid.org/0009-0006-4525-5826>



2025 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.