

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ ЗА ЗАСТОСУВАННЯ МІКРОБНИХ ПРЕПАРАТІВ

В.А. Болоховська¹, О.В. Нагорна¹, Л.А. Янсе^{2,3},
В.В. Бородай^{2,4}, Д.О. Яковенко^{1,2}

¹Біотехнологічна компанія BTU (м. Київ, Україна)
e-mail: valent2006@ukr.net; ORCID: 0009-0005-2728-4589
e-mail: olganova2008@ukr.net; ORCID: 0009-0001-6628-9383

²Інститут агроєкології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)
e-mail: d.yakovenko@btu-center.com; ORCID: 0000-0008-8239-7684

³Національна академія аграрних наук України (м. Київ, Україна)
e-mail: liliya.janse@gmail.com; ORCID: 0000-0002-2567-5907

⁴Національний університет біоресурсів і природокористування України (м. Київ, Україна)
e-mail: veraboro@gmail.com; ORCID: 0000-0002-8787-8646

У статті висвітлено ефективність внесення Азотохелпу і Граундфіксу щодо формування продуктивності пшениці озимої в умовах Правобережного Лісостепу України. Встановлено, що застосування біопрепаратів істотно підвищує адаптивний потенціал пшениці озимої та покращує ростові процеси. Висота рослин, біомаса та площа листової поверхні зросли на 8,3–51,5% порівняно з контролем на етапі осіннього кушення (ВВСН 22–25). Це забезпечило оптимальний стан посівів перед перезимівлею, що підтверджується високою кореляцією між біометричними параметрами осіннього розвитку рослин та подальшою врожайністю ($r=0,75-0,90$). Максимальна ефективність формування зернової продуктивності відзначена за передпосівного внесення суміші препаратів Азотохелпу і Граундфіксу, а також за поєднання обробки насіння Азотохелпом (1,5 л/т) + позакореневе підживлення (0,5 л/га) у фазі весняного кушення, що забезпечило збільшення кількості зерен у колосі до 28,0–28,9 шт. та зростання маси 1000 насінин на 6,0% (до 49,2–49,4 г). Доведено синергійний ефект сумісного застосування Азотохелпу та Граундфіксу, що зумовило найвищий приріст урожайності — 16,06% відносно контролю. Біологічна дія препаратів спрямована на збалансований перерозподіл асимілянтів, що підтверджується зниженням коефіцієнта співвідношення побічної продукції до основної до рівня 0,84–0,87 (проти 0,96 на контролі). Кореляційний аналіз показав визначальну роль довжини колоса ($r=0,90$), кількості зерен ($r=0,85$) та маси 1000 насінин ($r=0,89$) у формуванні виходу зерна. Застосування комбінованої обробки препаратами Граундфікс та Азотохелп насіння та посівів позитивно вплинуло на якісні характеристики зерна. Натурна маса зросла в середньому на 9,6 г/л, склоподібність — до 58,7%. Вміст сирової клейковини підвищився на 10,4–11,8%. Формування продуктивності рослин пшениці озимої за внесення під передпосівну культивування Азотохелп (3 л/га), Граундфікс (1,5 л/га) + Азотохелп (1,5 л/га), обробка насіння Азотохелпом (1,5 л/т) та у нормі (0,5 л/га) у фазі весняного кушення в середньому за роки досліджень виявились найбільш ефективними. Отримані результати доводять доцільність використання Азотохелпу та Граундфіксу у технології вирощування пшениці озимої.

Ключові слова: біопрепарати, *Triticum aestivum* L., урожайність, біометричні показники, якість зерна.

ВСТУП

Оптимізація мінерального живлення відіграє значну роль у формуванні продуктивності пшениці озимої (*Triticum aesti-*

um L.). Надмірне внесення мінеральних добрив призводить до значного екологічного навантаження та зниження рентабельності виробництва [1; 2]. Значна частка доданого мінерального азоту втрачається внаслідок процесів вилугування та де-

нітрифікації, а 70–90% мінерального фосфору трансформується у зв'язані форми, недоступні для рослин [3].

Численні дослідження використання біопрепаратів на основі поліфункціональних рїстстимулювальних бактерїї (PGPB) пїдтверджують можливїсть скорочення норм мїнеральних азотних добрив без втрат урожайностї та якостї зерна, що вїдповїдає принципам сталого землеробства [4–8]. Водночас ефективнїсть застосування біостимуляторїв їстотно визначається умовами вирощування, що зумовлює необхїднїсть їх дослідження з урахуванням специфіки окремих ґрунтово-клїматичних зон.

Мега досліджень — оцїнка впливу поліфункціональних біопрепаратїв Граундфікс та Азотохелп на формування продуктивностї та якостї зерна пшеницї озимої в умовах Правобережного Лїсостепу України.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Застосування біопрепаратїв сприяє повнїшїй реалїзацїї біологїчного потенцїалу врожайностї та пїдвищує адаптивнї властивостї пшеницї озимої в рїзних природно-клїматичних зонах України, що проявляється зростанням довжини колоса, маси зерен у колосї та маси 1000 зерен ї видображається на врожайностї [9; 10]. Так, обробка насїння пшеницї озимої біопрепаратом Органїк-Баланс монофосфор у нормї 1,0 л/т сприяла пїдвищенню приросту у середньому до 0,56 т/га (10,4%) [10].

Встановлено, що застосування комплексного препарату, який об'їднує азотфіксувальнї та фосфатмобїлізувальнї бактерїї, забезпечує прирїст урожайностї пшеницї озимої до 9,44% (0,5–0,7 т/га) [8]. Передпосївна їнокуляцїя комплексом мїкроорганїзмїв *Azotobacter vinelandii* 7 АІ, *A. chroococcum* 8 АІ та *Bacillus megaterium* 39 АІ продемонструвала позитивний вплив на врожайнїсть пшеницї [11].

Т.О. Грабовська та Г.Г. Мельник [12] дослідили, що обробка насїння та посївів біопрепаратима ФїтоХелп, МїкоХелп, Біокомплекс-БТУ в агроценозї пшеницї озимої забезпечила пїдвищення маси 1000 зе-

рен на 10,2–16,7%, маси зерна з колоса на 9,3–14,5%, урожайностї зерна на 17,1–26,1% порївняно з контролем, покращила якїснї показники насїння, що зумовлює використання біопрепаратїв в органїчному землеробствї. В їншому дослідженнї показано, що середня маса зерна впродовж чотирьох рокїв була вищою (+17,07%) за їнокуляцїї *A. chroococcum*, нїж на контрольному варїантї [13].

За комплексного використання багатофункціональних мїкробних біопрепаратїв (Мїкофренд, Граундфікс та Екостерн) спостерїгається прискорення фенологїчного розвитку рослин пшеницї озимої та пїлпшення морфогенетичних параметрїв, значне зростання вмісту рухомого фосфору, біологїчної активностї ґрунту, зниження ураження жовтою їржею, пїренофорозом [14].

В.Я. Хомїна, Д.В. Шейко [15] довели, що внесення Триходермїну, Агату 25 К та ПМК-ЗР за рїзних способїв їх застосування, сприяло пїдвищенню якостї насїння, а також встановили сортову реакцїю пшеницї озимої на масу 1000 насїнин, уміст бїлка, уміст сирї клейковини.

Доведено позитивний вплив допосївного оброблення насїння пшеницї озимої біопрепаратима Фїтоцид, р. та БіоМаг, р. на польову схожїсть рослин, їх пролонгований ефект на формування елементїв структури врожаю (в середньому продуктивна куцїстїсть зросла на 10,3%, озерненїсть колоса — на 12,2%, маса зерна з колоса — на 8,3%). Виявлено фунгїстатичний ефект біопрепаратїв вїдносно збудникїв кореневих гнїлей, а найвищу антифунгальну дїю спостерїгали за композитного використання біопрепаратїв, технїчна ефективнїсть щодо корневих гнїлей становила 51,8%. Спїльне застосування високих доз мїнеральних добрив та бактерїальних їнокулянтїв призвело до значного збїльшення вмісту N, P, K та бїлка в насїннї пшеницї, вплинуло на її врожайнїсть [16; 17].

Посїдання PGPM їз рїзними механїзмами дїї у консорцїумах посилює їх ефективнїсть та адаптивнїсть у польових умовах порївняно з одноштамовими їнокулян-

тами, покращує ріст, довжину та біомасу коренів/пагонів, підвищує вміст хлорофілу, каротиноїдів, фенолів, флавоноїдів та розчинного цукру у посівах зернових культур [18].

Проведений аналіз наукових джерел свідчить, що дослідження строків внесення та норм вітчизняних біопрепаратів на основі РГРВ, їхніх мікробних консорціумів, як елементів у технології вирощування пшениці озимої, є актуальним питанням.

МАТЕРІАЛ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження здійснювалися в умовах дослідного поля Хмельницької ДСГДС ІКСГП НААН (с. Самчики, Старокостянтинівський р-н, Хмельницька обл., північно-західна частина Правобережного Лісо-степу України) протягом 2020–2022 рр.

Ґрунт дослідної ділянки — чорнозем слабоопідзолений середньосуглинковий, середньопотужний, малогумусний на лісовому суглинку бурувато-пального забарвлення. Облікова площа ділянки — 40 м², повторність — чотириразова, розміщення ділянок — систематичне. Вміст гумусу (за Тюриним) — 2,8–2,9%, рН — 5,8–6,2, гідролітична кислотність — 0,019–0,023 г/кг, валові запаси нітрогену — 0,153–0,163%, фосфору — 0,136–0,149%, лужногідролізованого нітрогену — 0,17–0,193 г/кг, рухомі форми фосфору та калію (за Чириковим) — відповідно 0,208–0,226 та 0,08–0,12 г/кг.

У досліді вивчалися елементи технології вирощування пшениці озимої сорту Богдана: застосування біодобрив Граундфікс та Азотохелп (Азотофіт) (біотехнологічна компанія ВТУ, Україна). Дослідження проводили за такою схемою: 1 — контроль; 2 — Граундфікс (3 л/га), під передпосівну культивуацію; 3 — Азотохелп (3 л/га), під передпосівну культивуацію; 4 — Граундфікс (1,5 л/га) + Азотохелп (1,5 л/га), під передпосівну культивуацію; 5 — Азотохелп (1,5 л/т), обробка насіння; 6 — Азотохелп (1,5 л/т), обробка насіння + Азотохелп (0,5 л/га), у фазі весняного кушення; 7 — Азотохелп (0,5 л/га), у фазі весняного ку-

шення на мінеральному фоні N₉₀P₆₀K₆₀. Попередником була соя. Норма висіву насіння — 5 млн шт./га.

До складу біопрепарату Граундфікс входять мікроорганізми: *Bacillus velezensis* (*B. subtilis*), *B. subtilis*, *Priestia megaterium* (*B. megaterium* var. *phosphaticum*), *Agrobacterium pusense* (*Azotobacter chroococcum*), *Agr. salinitolerans* (*Enterobacter*), *Paenibacillus polymyxa* (титр 0,5–1,5·10⁹ КУО/см³). Основою біопрепарату Азотохелп (Азотофіт) є азотфіксувальні бактерії *Agrobacterium pusense* (*Azotobacter chroococcum*) та біологічно активні продукти їхньої життєдіяльності (титр 1,0·10⁹ КУО/см³).

Досліди з біопрепаратами було закладено в останній декаді вересня — першій половині жовтня, фоліарне внесення Азотохелпу (0,5 л/га) проводили у фазі ВВСН 21–29, збирання та облік урожаю пшениці озимої — в останній декаді липня. Дослідження виконували згідно зі загальноприйнятими методиками проведення досліджень у землеробстві [19–21].

Статистичну обробку даних здійснювали, використовуючи програму Microsoft Office Excel® 2010 для Microsoft Windows®. Середні значення порівнювали за допомогою дисперсійного аналізу (ANOVA) за $p \leq 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Застосування біопрепаратів стимулювало ріст та розвиток рослин на ранніх етапах органогенезу. Загалом, висота, маса рослин, довжина коренів, кількість листків на рослинах та площа листкової поверхні збільшилась у середньому на 8,3–51,5% порівняно з контрольним варіантом. Найефективнішим перед зимовим періодом виявились варіанти зі внесенням Азотохелпу (3 л/т) під передпосівну культивуацію та обробкою Азотохелп насіння (1,5 л/т) + обробкою рослин у фазі весняного кушення (0,5 л/га) (табл. 1).

За їх дії у фазі розвитку ВВСН 22–25 висота рослин перевищила контрольний варіант у середньому на 16,7%, довжина коренів — на 31,8%, а кількість листків

Таблиця 1. Біометричні показники рослин пшениці озимої (2021–2023 рр.)

Варіант	Висота рослини, см	Маса рослини, г	Довжина кореня, см	Кількість листків на рослині, шт.	Площа листового апарату 1 рослини, см ²
<i>Фаза росту рослин ВВСН 22–25</i>					
1*	8,4	0,3	4,4	4,03	29,4
2	9,2	0,4	5,0	4,17	36,3
3	9,7	0,5	5,6	4,77	43,6
4	9,5	0,4	5,2	4,67	39,3
5	9,6	0,4	5,4	4,37	39,3
6	9,9	0,4	6,0	4,70	43,9
7	8,7	0,4	5,0	4,40	34,0
НІР₀₅	0,9	0,07	0,8	0,50	3,8
<i>Фаза росту рослин ВВСН 25–32</i>					
1	17,6	1,7	5,8	7,73	129,0
2	19,3	2,2	6,6	9,33	168,4
3	19,9	2,5	6,2	10,77	205,3
4	19,2	2,5	7,1	10,83	200,7
5	19,5	1,8	6,8	8,47	165,5
6	19,9	2,6	7,5	10,00	172,9
7	18,0	2,4	6,6	9,47	136,8
НІР₀₅	1,88	0,22	0,9	1,0	16,8

Примітки: 1 – контроль; 2 – Граундфікс (3 л/га), під передпосівну культивуацію; 3 – Азотохелп (3 л/га), під передпосівну культивуацію; 4 – Граундфікс (1,5 л/га) + Азотохелп (1,5 л/га), під передпосівну культивуацію; 5 – Азотохелп (1,5 л/т), обробка насіння; 6 – Азотохелп (1,5 л/т), обробка насіння + Азотохелп (0,5 л/га), у фазі весняного кущення; 7 – Азотохелп (0,5 л/га), у фазі весняного кущення.

на рослині, за варіантів 3,6 та варіантом Граундфікс (1,5 л/т) + Азотохелп (1,5 л/т) під передпосівну культивуацію – на 20,0%, площу листової поверхні – на 48,8%. Решта варіантів – відповідно на 8,9; 26,1; 8,3 і 26,6% порівняно з контролем.

На масу рослин найбільше вплинув варіант зі внесенням Азотохелпу (3 л/т) під передпосівну культивуацію, за якого цей по-

казник був вищим від контролю на 51,5%, у решти варіантів із біопрепаратами – на 15,9%.

На момент входження в зимовий період у фазі розвитку ВВСН 22–25 біопрепарати позитивно вплинули як на розвиток та ріст рослин, так у подальшому і на продуктивність культури (коефіцієнти кореляції (*r*) становили 0,75–0,90 (табл. 2).

Таблиця 2. Показники кореляційних зв'язків між біометричними показниками рослин та врожайністю пшениці озимої за впливу мікробних препаратів (фаза розвитку ВВСН 22–25, 2021–2023 рр.)

Показники структури врожаю	Кореляція, (<i>r</i>)	Рівняння регресії, (<i>y</i>)
Висота рослини, см	0,88±0,10	$y = 0,5021x + 1,709$
Довжина кореня, см	0,85±0,10	$y = 0,5287x + 3,6072$
Маса рослини, г	0,75±0,13	$y = 4,3902x + 4,5463$
Кількість листків на рослині, шт.	0,87±0,10	$y = 0,9744x + 2,041$
Площа листового апарату, см ² /рослину	0,90±0,09	$y = 0,0543x + 4,3114$

Найвищий показник кореляційного зв'язку ($r=0,90\pm 0,09$) між біометричними показниками рослин та врожайністю пшениці озимої спостерігали за впливу біопрепаратів на площу листової поверхні. Це можна пояснити різним механізмом дії мікроорганізмів, які є основою біопрепаратів Граундфікс та Азотохелп, а саме поліпшенням енергетичного обміну в клітинах, зміцненням механічних тканин листків, збільшенням їх площі.

Застосування біопрепаратів Азотохелп та Граундфікс підвищило адаптивний потенціал та життєздатність рослин, сприяло кращій перезимівлі пшениці озимої. Найбільший відсоток збереження рослин пшениці озимої на час відновлення/вегетації відмічено у варіанті з обробкою насіння Азотохелп (1,5 л/т) та обробкою рослин Азотохелп (1,5 л/т) + обробкою рослин Азотохелп (0,5 л/га) у фазі весняного кушення (рис. 1).

За ефективністю щодо життєздатності рослин після зимового періоду до ньо-

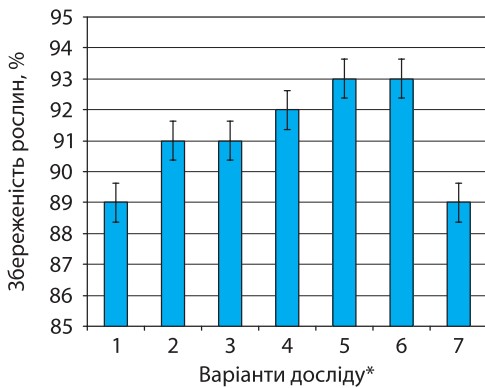


Рис. 1. Вплив різних способів внесення біопрепаратів Граундфікс та Азотохелп на життєздатність рослин після зимового періоду

Примітки: 1 – контроль; 2 – Граундфікс (3 л/га), під передпосівну культивуацію; 3 – Азотохелп (3 л/га), під передпосівну культивуацію; 4 – Граундфікс (1,5 л/га) + Азотохелп (1,5 л/га), під передпосівну культивуацію; 5 – Азотохелп (1,5 л/т), обробка насіння; 6 – Азотохелп (1,5 л/т), обробка рослин + Азотохелп (0,5 л/га), у фазі весняного кушення; 7 – Азотохелп (0,5 л/га), у фазі весняного кушення.

го наближався варіант із Граундфіксом (1,5 л/га) + Азотохелп (1,5 л/га).

Відомо, що ефективність біопрепаратів пов'язана з біологічною активністю мікроорганізмів, що є їх основою, та інших складових препаратів [22]. Аналогічні дані отримано М. Göbel et al. [22], у дослідженнях яких, за використання під передпосівну культивуацію в агроценозі пшениці озимої консорціуму *Pseudomonas brassicacearum*, *Bacillus amyloliquefaciens* та *Trichoderma harzianum* сумісно з немікробними стимуляторами, встановлено позитивний вплив на метаболізм рослин, підвищення їх стійкості після зимового періоду та пригнічення збудника септоріозу рослин. Сприятливий вплив біопрепаратів щодо стійкості протягом зимового періоду виявлено і в інших дослідженнях [14; 16; 23].

Ефективність застосування під передпосівну культивуацію окремо Азотохелпу та сумісно з Граундфіксом, а також Азотохелпу для обробки насіння (1,5 л/т) + рослин (0,5 л/га) у фазі весняного кушення (ВВСН 25–32) перевищувало ефективність решти варіантів у середньому вдвічі.

Максимальний стимулювальний ефект Азотохелпу спостерігали на утворення маси рослин (порівняно з контролем маса рослин збільшилась на 50,0–51,5% як восени, так і навесні (див. табл. 1). Це свідчить про кращу водозабезпеченість і тургесцентність, що сприяє стабілізації клітинних мембран, накопиченню розчинних вуглеводів і зменшенню ушкоджень від низьких температур, виходу більшого відсотку життєздатних рослин навесні.

Навесні, у фазі розвитку ВВСН 25–32 (весняне кушення) найефективнішими виявились внесення під передпосівну культивуацію Азотохелпу (3 л/т) та Граундфіксу (1,5 л/т) + Азотохелп (1,5 л/т), а також Азотохелп (1,5 л/т), обробка насіння + (0,5 л/га), обробка рослин у фазі весняного кушення. Ці процеси в подальшому позитивно вплинули і на формування продуктивності рослин, показники кореляції (r) між біометричними показниками у фазі розвитку ВВСН 25–32 та врожайністю колювались у межах 0,77–0,84 (табл. 3).

Встановлено, що, за використання Граундфікс (1,5 л/га) + Азотохелп (1,5 л/га) під передпосівну культивуацію, в ризосфері рослин створюється збалансований консорціум азотфіксувальних, фосфор- і каліймобілізувальних, рістстимулювальних мікроорганізмів, ефективність якого опосередковано впливає на покращання біометричних показників та підвищення продуктивності пшениці озимої [24].

У фазі росту ВВСН 83–89 зафіксовано збільшення густоти рослин і продуктивних стебел у варіантах із використанням біопрепаратів. Найбільша кількість рослин на 1 м² та кількість продуктивних стебел сформувалась за впливу окремого внесення Азотохелпу (відповідно 270,1–272,6 порівняно з 264,0 рослин на 1 м² на контролі та 483,0–493,3 проти 468,8 стебел на 1 м² (табл. 4).

Це зумовлює посилення процесів कुщення та кращу реалізацію генетичного потенціалу рослин за умов оптимізації живлення. Виявлено активізацію ростових процесів за дії біопрепаратів, зумовлену поліпшенням азотного живлення, збільшенням доступних форм фосфору та калію, покращенням фітогормонального балансу. Висота рослин була найбільшою за передпосівного додавання Азотохелпу та Граундфіксу – 100,8–101,1 см порівняно з 91,8 см на контрольному варіанті. У решти варіантів (2,5,6 та 7) – 95,3–97,2 см.

Найвираженіший ефект щодо збільшення довжини колоса встановлено за впливу Азотохелпу, внесеного різними способами (під передпосівну культивуацію окремо – варіант 3 та сумісно з Граундфіксом – варіант 4, з обробкою насіння та рослин у фазі весняного кущення – варіант 6) –

Таблиця 3. Показники кореляційних зв'язків між біометричними показниками рослин та врожайністю пшениці озимої за впливу мікробних препаратів (фаза розвитку ВВСН 25–32, 2021–2023 рр.)

Показники структури врожаю	Кореляція, (r)	Рівняння регресії, (y)
Висота рослини, см	0,83±0,11	$y = 0,2887x + 0,8693$
Довжина кореня, см	0,77±0,13	$y = 0,4376x + 3,4583$
Маса рослини, г	0,78±0,12	$y = 0,684x + 4,8373$
Кількість листків на рослині, шт.	0,84±0,11	$y = 0,2332x + 4,1529$
Площа листового апарату, см ² /рослину	0,81±0,12	$y = 0,0886x + 48,795$

Таблиця 4. Вплив біопрепаратів на морфометричні показники пшениці озимої (фаза росту ВВСН 83–89, 2021–2023 рр.)

Варіант досліду	Кількість рослин на 1 м ²	Кількість продуктивних стебел на 1 м ²	Висота рослин, см	Довжина колоса, см	Кількість зерен у колосі, шт.	Абсолютна маса 1000 насінин, г
1*	264,0±35,9	468,8±16,3	91,8±1,4	6,6±0,3	26,4±1,2	47,1±0,1
2	265,4±36,3	476,1±14,8	97,2±1,3	7,1±0,3	27,9±1,4	48,7±0,9
3	270,1±34,9	483,0±11,6	100,8±3,0	7,3±0,1	28,0±0,6	49,3±0,8
4	267,9±34,2	478,6±11,2	101,1±4,0	7,5±0,2	28,9±1,1	49,0±0,7
5	264,7±36,4	479,4±19,0	95,3±1,6	7,2±0,2	27,6±0,7	49,4±0,9
6	272,6±34,3	493,3±12,5	96,2±1,9	7,3±0,1	27,8±0,3	49,2±1,1
7	271,6±35,9	485,4±11,0	94,4±1,2	7,4±0,2	26,9±1,2	49,1±0,7

Примітки: 1 – контроль; 2 – Граундфікс (3 л/га), під передпосівну культивуацію; 3 – Азотохелп (3 л/га), під передпосівну культивуацію; 4 – Граундфікс (1,5 л/га) + Азотохелп (1,5 л/га), під передпосівну культивуацію; 5 – Азотохелп (1,5 л/т), обробка насіння; 6 – Азотохелп (1,5 л/т), обробка насіння + Азотохелп (0,5 л/га), у фазі весняного кущення; 7 – Азотохелп (0,5 л/га), у фазі весняного кущення.

більше на 11,4–13,6% щодо контролю. За внесення Азотохелпу та Граундфіксу під передпосівну культивуацію (варіанти 3,4) краще відбувались процеси наливу зерна та зменшення редуції квіток, що спричинило значну кількість зерен у колосі (28,0–28,9 шт. порівняно з контролем – 26,4 шт.). Абсолютна маса 1000 насінин була найбільшою за впливу різних способів внесення Азотохелпу – 49,2–49,4 порівняно з 47,1 г на контролі.

Важливим чинниками формування зернової продуктивності є довжина колоса, кількість зерен у колосі та абсолютна маса 1000 насінин. Показники кореляції (*r*) між вище переліченими показниками та продуктивністю пшениці озимої за впливу біо-

препаратів становили відповідно $0,90 \pm 0,09$, $0,85 \pm 0,10$ та $0,89 \pm 0,09$, що свідчить про сильну кореляцію (табл. 5).

Біологічна врожайність пшениці озимої варіювала за роками досліджень, однак у середньому найкращими виявились варіанти з комплексним внесенням Граундфіксу (1,5 л/га) + Азотохелп (1,5 л/га) (варіант 4), обробкою насіння Азотохелп (1,5 л/га) + Азотохелп (0,5 л/га) у фазі весняного кушення (варіант 6) та внесення Азотохелпу (3 л/га) під передпосівну інокуляцію (варіант 3), за дії яких біологічна урожайність сягала відповідно 6,65, 6, 63 і 6,55 т/га (табл. 6).

Найвищою врожайність була за сумісної дії поліфункціональних біопрепара-

Таблиця 5. Показники кореляційних зв'язків між елементами структури врожаю та продуктивністю пшениці озимої за впливу біопрепаратів

Показники структури врожаю	Кореляція, (<i>r</i>)	Рівняння регресії, (<i>y</i>)
Кількість рослин на 1 м ²	0,58±0,16	$y = 0,53x - 78,355$
Кількість продуктивних стебел на 1 м ²	0,72±0,14	$y = 0,2964x - 78,743$
Висота рослин, см	0,80±0,12	$y = 0,7473x - 8,5437$
Довжина колосу, см	0,90±0,09	$y = 9,6538x - 5,7934$
Кількість зерен у колосі, шт.	0,85±0,10	$y = 3,3167x - 27,969$
Абсолютна маса 1000 насінин, г	0,89±0,09	$y = 3,5441x - 109,34$

Таблиця 6. Біологічна врожайність пшениці озимої за впливу біопрепаратів, т/га

№ п/п	Варіант досліджу	Роки			Середнє	Приріст (±) до контролю, т/га	Приріст (±) до контролю, %	
		2021	2022	2023				
1	Контроль	5,34	5,99	5,85	5,73	–	–	
2	Граундфікс (3 л/га)	під передпосівну культивуацію	5,84	6,65	6,49	6,33	0,60	10,41
3	Азотохелп (3 л/га)		6,05	6,76	6,84	6,55	0,82	14,31
4	Граундфікс (1,5 л/га) + Азотохелп (1,5 л/га)		6,27	6,95	6,73	6,65	0,92	16,06
5	Азотохелп (1,5 л/т), обробка насіння	6,15	6,41	6,67	6,41	0,68	11,87	
6	Азотохелп (1,5 л/т), обробка насіння + Азотохелп (0,5 л/га), у фазі весняного кушення	6,22	6,89	6,79	6,63	0,90	15,76	
7	Азотохелп (0,5 л/га), у фазі весняного кушення	5,78	6,75	6,38	6,30	0,57	10,01	
НІР₀₅		0,08	0,11	0,18				

тів Граундфіксу та Азотохелпу (приріст урожаю був на 16,06% більшим за контроль), що пояснює їх синергічний ефект, збалансований перерозподіл асимілянтів від стебла до колоса. У варіантах 6 і 3 приріст урожаю до контролю становив 15,76 і 14,31% відповідно.

Ефективність сумісного поєднання бактерій із різним механізмом дії щодо зернових культур доведено в роботах Б.О. Палазюка зі співавт. [8] та Т. Kaur et al. [18]. Аналогічну ефективність спостерігали M.L. Nguyen et al. [24], в дослідженнях яких встановлено вплив *Bacillus velezensis* на активізацію процесів росту та розвитку пшениці озимої та ярої, збільшення врожайності зерна на 14,9%, порівняно з контролем. Однак, активність їх штамів бактерій змінювалась залежно від умов років досліджень.

Згідно з дослідженнями Л. Присяжнюк та ін. [25], ґрунтово-кліматична зона вирощування та взаємодія факторів зона × рік істотно впливають на врожайність пшениці озимої — відповідно 73 і 21%, на вміст білка та клейковини — відповідно 49 і 64%, тоді як умови вегетаційного періоду — на 21 й 28%, а генотип — на 5 та 4%. За розрахунками Б.О. Палазюка зі С.О. Юрченко [8], кліматичні умови року досліджень мали 40,4% впливу, а використання біопрепаратів за вегетації — 17,7%.

Веgetаційні періоди 2020–2023 рр. відзначалися істотною варіабельністю гідротермічних умов, що вплинуло на продуктивність пшениці озимої. Впродовж 2020–2021 рр. сприятливі умови на початкових етапах розвитку та достатній запас вологи у травні поєднувалися з сильними безсніжними морозами взимку та нестабільними опадами під час формування репродуктивних органів, що зумовило зниження врожайності. Найвищі показники продуктивності в 2021–2022 рр. зумовлені достатнім запасом вологи у зимово-весняний період і сприятливими умовами перезимівлі, що нівелювало вплив осінньої посухи та сушувів у період наливу зерна. Веgetаційний період 2022–2023 рр. характеризувався пізніми строками сівби, аномально теплою зимою,

надлишком вологи восени та влітку і дефіцитом опадів у травні, що зумовило дещо нижчу врожайність порівняно з попереднім роком. У середньому за 2021–2023 рр. встановлено стабільний позитивний вплив біопрепаратів Азотохелп та Граундфікс на формування продуктивності культури за мінливих гідротермічних умов.

Ще одним значним елементом біологічної врожайності є формування побічної продукції (соломи), що має важливе господарське значення. Біопрепарати Азотохелп та Граундфікс сприяли активізації мікробіому ризосфери, наростанню вегетативної маси рослин за рахунок покращання азотного та фосфорного живлення, стимуляції процесів фотосинтезу, фітогормональної регуляції. Встановлено, що за впливу різних способів внесення Азотохелпу та Граундфіксу, коефіцієнт співвідношення побічної до основної продукції був найменшим у варіантах 3; 5 та 6 і становив у межах 0,84–0,87 (на контролі — 0,96) (рис. 2).

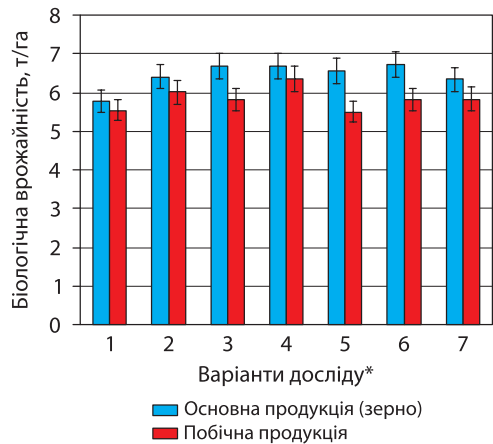


Рис. 2. Вплив різних способів внесення біопрепаратів Граундфікс та Азотохелп на формування побічної продукції

Примітки: 1 — контроль; 2 — Граундфікс (3 л/га), під передпосівну культивуацію; 3 — Азотохелп (3 л/га), під передпосівну культивуацію; 4 — Граундфікс (1,5 л/га) + Азотохелп (1,5 л/га), під передпосівну культивуацію; 5 — Азотохелп (1,5 л/т), обробка насіння; 6 — Азотохелп (1,5 л/т), обробка насіння + Азотохелп (0,5 л/га), у фазі весняного кущення; 7 — Азотохелп (0,5 л/га), у фазі весняного кущення.

Таблиця 7. Показники якості зерна пшениці озимої за дії біопрепаратів (2021–2023 рр.)

№ п/п	Варіант досліджу	Маса 1000 насінин, г	Склоподібність, %	Натурна маса, г/л	Вміст сирової клейковини, %
1	Контроль	47,0±0,1	46,3±6,3	759,3±1,7	15,2±0,8
2	Граундфікс (3 л/га)	49,7±0,9	57,7±6,7	769,0±1,0	17,0±0,2
3	Азотохелп (3 л/га)				
4	Граундфікс (1,5 л/га) + Азотохелп (1,5 л/га)				
5	Азотохелп (1,5 л/т), обробка насіння	50,0±1,0	52,7±5,7	771,7±4,3	16,1±0,2
6	Азотохелп (1,5 л/т), обробка насіння + Азотохелп (0,5 л/га), у фазі весняного куцання	49,5±1,3	54,3±12,3	776,3±7,7	16,7±0,5
7	Азотохелп (0,5 л/га), у фазі весняного куцання	49,5±0,3	54,3±11,3	764,3±2,7	16,0±0,2

У середньому за роки досліджень відмічено позитивну дію біопрепаратів на показники якості зерна пшениці озимої, їх зростання порівняно з контролем. За дії біопрепаратів Граундфікс та Азотохелп поліпшуються умови наливу зерна, ефективність використання асимілянтів. Активізації процесів азотфіксації посилює синтез білків, впливає на продовження періоду активного фотосинтезу. За рахунок цього, маса 1000 насінин за дії біопрепаратів збільшилася в середньому на 6,0% (табл. 7).

Найвищим цей показник був за дії Азотохелп 1,5 л/т обробка насіння (50,0 г порівняно з 47,0 г на контрольному варіанті). Важливим показником якості є склоподібність зерна. Найбільшим це значення виявилось за дії Граундфікс (1,5 л/га) + Азотохелп (1,5 л/га) (58,7%) та окремо Граундфіксу 3 л/га (57,7%), що перевищувало контроль на 19,4%, у решти варіантів – на 17,0%.

Це зумовлено кращим накопиченням білково-крохмального комплексу та більш рівномірним дозріванням зерна за дії біопрепаратів. Їх вплив проявився і у формуванні більш виповненого, щільного зерна кращої товарної якості, зростанні натурної маси зерна.

Найвищі показники натурної маси були у варіанті з Азотохелпом (1,5 л/т), обробка насіння + Азотохелп (0,5 л/га),

обробка рослин у фазі весняного куцання – 771,7–776,3 порівняно з 759,3 г/л на контрольному варіанті. В середньому за дії усіх досліджуваних варіантів з біопрепаратами, натурна маса зерна була в середньому більшою на 9,6 г/л від контролю.

За впливу біопрепаратів спостерігали і посилення білкового обміну та засвоєння азоту, вміст сирової клейковини у варіантах зі внесенням під передпосівну культивування окремо Граундфіксу (3 л/га), Граундфікс (1,5 л/га) + Азотохелп (1,5 л/га) та обробка насіння Азотохелпом (1,5 л/т) був вищим за контроль на 10,4–11,8%.

Отже, за дії біопрепаратів спостерігали комплексне покращання показників якості зерна пшениці озимої, було сформовано зерно з поліпшеними хімічними та фізичними властивостями.

ВИСНОВКИ

У процесах формування продуктивності рослин пшениці озимої в середньому за роки досліджень найбільш ефективними виявились внесення під передпосівну культивування Азотохелп (3 л/га), Граундфікс (1,5 л/га) + Азотохелп (1,5 л/га), обробка насіння Азотохелп (1,5 л/т) та у нормі (0,5 л/га) у фазі весняного куцання.

Встановлено, що застосування біопрепаратів Азотохелп та Граундфікс істотно

підвищує адаптивний потенціал озимої пшениці висота рослин, біомаса та площа листової поверхні зросли на 8,3–51,5% порівняно з контролем на етапі осіннього кушення (ВВСН 22–25). Це забезпечило оптимальний морфологічний стан посівів перед перезимівлею, що підтверджується високою кореляцією між параметрами осіннього розвитку та подальшою врожайністю ($r=0,75-0,88$).

Застосування під передпосівну культивування Азотохелпу у нормі 3 л/га та Граундфіксу (1,5 л/га) + Азотохелп (1,5 л/га), обробка насіння Азотохелп у нормі (1,5 л/т) + обробка рослин Азотохелп (0,5 л/га) у фазі весняного кушення підвищило адаптивність рослин до умов перезимівлі, створило передумови для формування високої продуктивності посівів, позитивно вплинуло на біометричні показники пшениці озимої в осінній та весняний періоди, які в середньому були на 8,3–48,8% і 7,7–50,0% більшими за контроль. У подальшому їх вплив на ростові процеси дещо уповільнився за рахунок перерозподілу асимілянтів у бік наливу зерна.

Максимальна ефективність формування зернової продуктивності відзначена за

передпосівного внесення суміші препаратів, а також за поєднання обробки насіння Азотохелп (1,5 л/т) + позакореневе підживлення (0,5 л/га) у фазі весняного кушення (збільшення кількості зерен у колосі до 28,0–28,9 шт. та зростання маси 1000 насінин на 6,0% (до 49,2–49,4 г)).

Біологічна дія препаратів спрямована на збалансований перерозподіл асимілянтів, що підтверджується зниженням коефіцієнта співвідношення побічної продукції до основної до рівня 0,84–0,87 (проти 0,96 на контролі). За комбінованої обробки насіння та посівів натурна маса зроста в середньому на 9,6 г/л (максимум – 776,3 г/л), показники склоподібності становили 58,7%, вміст сирової клейковини підвищився на 10,4–11,8%, що свідчить про активізацію азотного обміну та посилення біосинтезу білків за дії мікробіологічних агентів.

Встановлено синергічний вплив за сумісного внесення біопрепаратів Граундфікс 1,5 л/га + Азотохелп 1,5 л/га, формування розвинутої кореневої системи та площі листової поверхні. Це зумовило максимальну врожайність (6,65 т/га) та найкращі показники якості зерна (склоподібність 58,7%, вміст клейковини 16,8%).

ЛІТЕРАТУРА

- Chen, Q., Song, Y., An, Y., Lu, Y., & Zhong, G. (2024). Soil microorganisms: their role in enhancing crop nutrition and health. *Diversity*, 16(12), 734. DOI: <https://doi.org/10.3390/d16120734>.
- Herrero, J., Ramírez-Santos, A., Díaz-Santos, E., & Torres-Cortés, G. (2025). Biofertilizers for Enhanced Nitrogen Use Efficiency: Mechanisms, Innovations, and Challenges. *Nitrogen*, 6(4), 111. DOI: <https://doi.org/10.3390/nitrogen6040111>.
- Ghorbani, M. (2025). Recycled Nitrogen for Regenerative Agriculture: A Review of Agronomic and Environmental Impacts of Circular Nutrient Sources. *Agronomy*, 15(11), 2503. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy15112503>.
- Fukami, J., Nogueira, M. A., Araujo, R. S., & Hungria, M. (2016). Accessing inoculation methods of maize and wheat with *Azospirillum brasilense*. *AMB Express*, 6, 3. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13568-015-0171-y>.
- Artyszak, A., & Gozdowski, D. (2021). Is It Possible to Maintain the Quantity and Quality of Winter Wheat Grain by Replacing Part of the Mineral Nitrogen Dose by Growth Activators and Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR)? *Sustainability*, 13(11), 5834. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13115834>.
- Mandal, S., Anand, U., López-Bucio, J., Radha, Kumar, M., Lal, M. K., Tiwari, R. K., & Dey, A. (2023). Biostimulants and environmental stress mitigation in crops: A novel and emerging approach for agricultural sustainability under climate change. *Environmental research*, 233, 116357. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116357>.
- Jindo, K., Goron, T. L., Pizarro-Tobías, P., Sánchez-Monedero, M., Audette, Y., Deolu-Ajayi, A., ... Tortosa, G. (2022). Application of biostimulant products and biological control agents in sustainable viticulture: A review. *Frontiers in Plant Science*, 13, 932311. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.932311>.
- Палазюк, Б. О., & Юрченко, С. О. (2025). Формування урожайності пшениці м'якої озимої залежно від сортових властивостей та впливу біостимуляторів на основі ризобактерій. *Аграрні інновації*, 27(4), 167–174. DOI: <https://doi.org/10.32848/agra.innov.2025.32.24>.
- Yakovenko, D. O., Boroday, V. V., & Bolokhovska, V. A. (2025). Directionality of microbiological processes in the rhizosphere of winter wheat under the influence of biological products Azotohelp® and Groundfix®. In: *Modern Agronomy Trends: Innovation, Sustainable Development and the Future of Agriculture: monograph*.

- (pp. 434–458). Riga: Baltija Publishing. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-588-4-18>.
10. Дацько, А., Хоменко, Т., Новохацький, М., Квасницька, Л., & Умрихін, Н. (2022). Ефективність мікробних препаратів за обробки насіння пшениці озимої. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільськогосподарства України*, 31(45), 121–129. DOI: [http://doi.org/10.31473/2305-5987-2022-2-31\(45\)-11](http://doi.org/10.31473/2305-5987-2022-2-31(45)-11).
 11. Левішко, А. С., Гуменюк, І. І., & Цвігун, В. О. (2025). Ефективність комплексної обробки насіння пшениці озимої. *Сільськогосподарська мікробіологія*, 41, 45–55. DOI: <https://doi.org/10.35868/1997-3004.41.45-55>.
 12. Грабовська, Т. О., & Мельник, Г. Г. (2017). Вплив біопрепаратів на продуктивність пшениці озимої за органічного виробництва. *Аеробіологія*, 1, 80–85. URL: https://agrobiologiya.btsau.edu.ua/sites/default/files/visnyky/agrobiologiya/grabovska_1_2017.pdf.
 13. Kumar, S., Satyavir, D., Sindhu, S., & Kumar, R. (2021). Biofertilizers: An ecofriendly technology for nutrient recycling and environmental sustainability. *Current Research in Microbial Sciences*, 3, 100094. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2021.10.0094>.
 14. Нікорич, В. А. (2025). Роль біопрепаратів у компенсації дефіциту вегетації та економічній ефективності пізньої сівби озимої пшениці. *Науковий вісник Чернівецького університету. Сер.: Біологія (Біологічні системи)*, 17(2), 302–312. DOI: <https://doi.org/10.31861/biosystems2025.02.302>.
 15. Хоміна, В. Я., & Шейко, Д. В. (2023). Елементи біологізації як засіб поліпшення технологічних показників та якісного складу зерна пшениці озимої в умовах західного Лісостепу. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*, 2(39), 35–40. DOI: <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2023-2>.
 16. Поспелова, Г. Д., Коваленко, Н. П., Поспелов, С. В., Литвиненко, С. О., & Сиваш, К. С. (2024). Ефективність застосування біопрепаратів на пшениці озимій. *Scientific Progress & Innovations*, 27(4), 37–42. DOI: <https://doi.org/10.31210/spi2024.27.04.07>.
 17. Latkovic, D., Maksimovic, J., Dinic, Z., Pivic R., Stanojkovic, A., & Stanojkovic-Sebic, A. (2020). Case study upon foliar application of biofertilizers affecting microbial biomass and enzyme activity in soil and yield related properties of maize and wheat grains. *Biology*, 9(12), 452. DOI: <https://doi.org/10.3390/biology9120452>.
 18. Kaur, T., Devi, R., Kumar, S., Sheikh, I., Kour, D., & Yadav, A. N. (2022). Microbial consortium with nitrogen-fixing and mineral-solubilising attributes for growth of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Heliyon*, 8(4), e09326. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09326>.
 19. Демидов, О. А. (2023). *Технологія вирощування насіння пшениці озимої: методичні рекомендації*. Центральне: Миронівський інститут пшениці ім. В.М. Ремесла.
 20. Лівандовський, А. А., & Хоменко, Т. М. (2016). *Методика проведення експертизи сортів рослин групи зернових, круп'яних та зернобобових на придатність до поширення в Україні* (С. О. Ткачик, Ред.). Вінниця: Український інститут експертизи сортів рослин.
 21. Киенко, З. Б., & Присяжнюк, Л. М. (2016). *Методика проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до поширення в Україні. Методи визначення показників якості продукції рослинництва* (С. О. Ткачик, Ред.). Вінниця: Український інститут експертизи сортів рослин.
 22. Göbel, M., Dulal, S., Sommer, L., Sommer, L., Weinmann, M., Mamun, A., ... Bradáčová, K. (2024). Protective potential of selected microbial and non-microbial biostimulants against Zymoseptoria tritici leaf blotch in winter wheat as affected by the form of N supply. *Front Plant Sci*, 15, 1407585. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1407585>.
 23. Михайлюк, Д. В., & Правдива, Л. А. (2025). Вплив елементів технології вирощування на виживаність та зимостійкість пшениці озимої в умовах Правобережного Лісостепу України. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*, 3(48), 67–72. DOI: <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2025-3.8>.
 24. Nguyen, M. L., Glaes, J., Spaepen, S., Bodson, B., du Jardin, P., & Delaplace, P. (2019). Biostimulant effects of Bacillus strains on wheat from in vitro towards field conditions are modulated by nitrogen supply. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 182, 325–334. DOI: <https://doi.org/10.1002/jpln.201700610>.
 25. Присяжнюк, Л., Хоменко, Т., Ляшенко, С., & Мельник, С. (2022). Фактори вирощування впливають на продуктивність нових сортів м'якої озимої пшениці. *Вивчення та охорона сортів рослин*, 18(4), 273–82. DOI: <https://doi.org/10.21498/2518-1017.18.4.2022.273989>.

Дата першого надходження рукопису до редакції: 10.11.2025
 Дата прийняття статті до друку після рецензування: 15.12.2025
 Дата публікації: 27.02.2026