

УДК 631.52.032:631.523.7

Ефективність передпосівної обробки насіння пшениці біостимулятором

 С. М. Каленська,  О. І. Шутий,  Т. В. Антал,  Р. В. Сонько,  В. П. Каленський

Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна, *e-mail: svitlana.kalenska@gmail.com

Мета. Установити ефективність передпосівної обробки насіння пшениці озимої біостимулятором RhizoMax щодо впливу формування площі листової поверхні, вмісту хлорофілів у листках та врожайності пшениці озимої. **Методи.** Польові дослідження проводили у ВП НУБіП України «Агрономічна дослідна станція» в стаціонарній сівозміні кафедри рослинництва на чорноземі типовому малогумусному. Біостимулятор RhizoMax вивчали на посівах сорту пшениці озимої м'якої 'МІП Валенсія'. **Результати.** Площа прапорцевого листка у фазі цвітіння становила 21,4–25,1 см² і перевищувала площу першого і другого листка. Застосування RhizoMax сприяло суттєвому збільшенню площі прапорцевого листка – на 2,9–3,7 см². Сумарна площа трьох верхніх листків головно стебла становила від 58,1 см² у контрольному варіанті до 67,1 см² за обробки насіння RhizoMax нормою 3 л/т, приріст був 9,1 см², або 13,6 %. Максимальний сумарний вміст пігментів у листках рослин пшениці озимої у середньому за три роки був у фазі колосіння – 14,3–14,5 мг/г за застосуванням біостимулятора RhizoMax; у контрольному варіанті – 11,9 мг/г; за внесення лише добрив (фон) – 13,3 мг/г. Помітне зниження концентрації всіх груп пігментів від фази колосіння до цвітіння та молочно-воскової стиглості відзначено в контрольному варіанті. Застосування біостимулятора і добрива сприяло подовженню активного фотосинтезу – вміст пігментів в листках впродовж фаз лишився майже стабільним. Вміст хлорофілу *a* у прапорцевому листку в середньому за три роки досліджень зростав за використання біостимулятора порівняно з контролем у фазі колосіння на 2,14–2,75 мг/г; цвітіння – 2,24–2,85; молочно-воскової стиглості – 2,28–2,89 мг/г. Урожайність за застосування RhizoMAX у середньому за роки дослідження зростала до 6,83–7,02 т/га, за врожайності в контрольному варіанті 3,17 т/га. Доведено стимулюючу та антистресову дію біостимулятора RhizoMax – в умовах критично посушливого 2021/22 вегетаційного року були отримані прирости врожайності на рівні 2,07–2,63 т/га порівняно з контрольним варіантом (2,48 т/га). **Висновки.** Комбіноване застосування для обробки насіння біостимулятора RhizoMax та фонового внесення добрива Actibion, сприяє активному росту й розвитку рослин і забезпечує активне функціонування листової поверхні, синтезу хлорофілів та зростанню врожайності пшениці озимої. Не встановлено суттєвого ефекту від зростаючих норм RhizoMax, що може свідчити про активну форму препарату.

Ключові слова: пшениця озима; біостимулятор RhizoMax; площа листків; хлорофіл; урожайність; структура врожаю; стресостійкість.

Вступ

Стале сільське господарство передбачає зниження використання агрохімікатів, що позитивно впливає на довкілля, збереження видів від зникнення, вдосконалення тактики управління та збереження за рахунок зменшення витрат сільськогосподарських ресурсів [1, 2]. Потреба у зростанні виробництва продукції рослинництва обумовлює пошук збалансованих шляхів їх вирішення і зокрема це є комбіноване забезпечення рослин елементами живлення за рахунок використання різних форм мінеральних добрив, органічних добрив, біопрепаратів з специфічними мікроорганізмами тощо [3, 4]. Новітні форми добрив, застосування яких передбачає цільове використання елементів живлення, пролонговану дію добрив [5, 6], здатні підвищити цільове використання елементів живлення, зменшити норми внесення та негативний вплив на довкілля. Важлива роль відводиться добривам з пролонгованою дією, нанодобривам та рістстимулювальним комплексам [7–9].

Процеси фотосинтезу, темпи наростання площі листової поверхні і дихання мають безпосередній вплив на ріст і розвиток рослин, що зумовлюють швидкість накопичення органічної маси, структуру та врожайність [10]. Водночас фотосинтез, який усі рослини використовують для перетворення сонячного світла в енергію та синтез органічної речовини – урожайності культур, має, на жаль, низку ефективності [11, 12]. Підраховано, що ефективність фотосинтезу становить менше ніж 4,6 % у рослин C_3 , тоді як у рослин C_4 це число може досягати 6 % [13]. Напрями підвищення ефективності фотосинтезу є досить різними від моделювання геному, селекції до технологій вирощування культур, які забезпечують збільшення площі листової поверхні, ефективну транспірацію та поглинання сонячної енергії [14–16]. Є два основних шляхи збільшення накопичення сухої речовини через процеси фотосинтезу. Перший – подовження вегетаційного періоду, другий – підвищення ефективності поглинання і перетворення посівами світла, що можливо досягати шляхом збільшення площі листової поверхні [15].

Одним з основних технологічних чинників, які обумовлюють інтенсифікацію фотосинтезу, накопичення сухої речовини, формування врожайності зі спрямованою якістю зерна є система удобрення та способи забезпечення рослин елементами живлення, зокрема за передпосівної обробки насіння стимулюючими препаратами, добривами та іншими способами [17, 18]. Оптимізація живлення забезпечує зростання таких показників фотосинтетичної діяльності посівів, як листовий індекс та вміст хлорофілу в листках інтенсивних сортів пшениці озимої [19]. Взаємозв'язок фотосинтетичного потенціалу листків, урожайності та показників якості зерна засвідчує про важливість регулювання потужності фотосинтетичного апарату рівнем мінерального живлення [10, 19, 20].

Мета дослідження – установити ефективність передпосівної обробки насіння пшениці озимої біостимулятором RhizoMax через формування площі листової поверхні та врожайності за вирощування в умовах Правобережного Лісостепу України.

Матеріали та методика досліджень

Польові дослідження проводили у ВП НУБіП України «Агрономічна дослідна станція» в стаціонарній сівоzmіні кафедри рослинництва та наукових лабораторіях упродовж 2019/2020–2021/2022 вегетаційних років (в. р.). ВП НУБіП України «Агрономічна дослідна станція» належить до північно-східної частини Правобережного Лісостепу України. Ґрунт дослідної ділянки – чорнозем типовий малогумусний крупнопилувато-легкосуглинковий за механічним складом. Вміст гумусу – 4,4 %, рН – 6,8–7,3, ємність поглинання – 30,7–32,5 мг-екв на 100 г ґрунту. Вміст рухомих форм поживних речовин (у шарі 0–20 см): загального азоту – 0,27–0,31 %, фосфору – 0,15–0,25 %, калію – 2,3–2,5 %. Щільність ґрунту – 1,16–1,25 г/см³, вологість стійкого в'янення – 10,8 %, рівень залягання підґрунтових вод – 5–6 м.

Зволоження територій в роки проведення досліджень 562 мм, а за вегетаційний період – 320–450 мм (65 % від річної норми), що цілком забезпечує сільськогосподарські культури вологою, зокрема й пшеницю озиму. Проте, впродовж року вони випадають нерівномірно.

Температурний режим повітря в роки проведення досліджень істотно перевищував середні багаторічні показники.

Погодні умови в період сівби пшениці озимої безпосередньо впливали на розвиток рослин – у першій декаді вересня 2019 року випало лише 4,0 мм за ГТК 0,4. Умови вегетації пшениці озимої у 2019/2020 в. р. за значення ГТК 0,7 характеризувались як посушливі. Недостатня кількість опадів була критичною в період сівби та недостатньою в період відновлення вегетації рослин пшениці озимої весною.

Осінь 2020 року характеризувалася підвищеною температурою повітря з перевищення середньої багаторічної: у вересні на 4,8 °С, жовтні – 5,0 °С, листопаді – 1,7 °С. Кількість опадів в осінній період суттєво перевищувала середньобагаторічну норму – на 71 мм. ГТК в жовтні 2020 р. становив 2,3 – надмірне зволоження. Загалом у 2020/2021 в. р. вегетація пшениці озимої відбувалася в умовах достатнього забезпечення вологою – ГТК 1,1; кількість опадів за вегетаційний період була 727,6 мм, що позитивно вплинуло на кущення рослин та в загальному на продуктивність.

Дослідження у 2021/2022 в. р. проходили в умовах теплої осені: вересень – 13,7 °С; жовтень – 8,7 °С, листопад – 2,8 °С. Температура відповідала середньобагаторічним даним, а опадів суттєво не вистачало. Умови періоду вегетації пшениці озимої у 2021/2022 роках характеризувались як посушливі – ГТК наближався до 1,0,

З метою встановлення ефективності органічного біостимулятора RhizoMax (ТОВ «Фертчем») закладався і проводився багатофакторний польовий дослід (табл. 1).

RhizoMax – рідкий органічний біостимулятор збагачений ферментами та вільними амінокислотами. Частка органічного азоту становить по 1 %, амінокислот – 6 %. Амінограма представлена 18 амінокислотами: Gl, Al, Arg, As, Fe, Glu, Hpr, His, Leu, Lys, Met, Phe, Ser, Thr, Val, Trp і Cys. Добриво має кислу реакцію (рН 5). Завдяки наявності комплексу Efisoil покращує життєдіяльність мікроорганізмів, що знаходяться в ризосфері. Вільні амінокислоти покращують процес формування кореневої системи. Збалансований ферментний комплекс сприяє мобілізації запасів елементів, які знаходяться в насінні, для початку циклу проростання, а наявність карбонових кислот покращує доступність елементів живлення на ранніх стадіях росту.

Таблиця 1

Схема дослідів – Ефективність передпосівної обробки насіння пшениці озимої біостимулятором RhizoMax

Система локального внесення – <i>фактор А</i>	Позначення варіанту	Добриво Біостимулятор	Обробка насіння біостимулятором, норма препарату – <i>фактор В</i>
Контроль – без добрив N ₉ P ₂₀ K ₁₂ S ₁₂ + 80 кг/га д. р. N, весняне кушення – фон	К	–	–
Фон	F	Actibion	–
Фон	RM 1 + F	RhizoMax + фон	RhizoMax 1 л/т
Фон	RM 2 + F	RhizoMax + фон	RhizoMax 2 л/т
Фон	RM 3 + F	RhizoMax + фон	RhizoMax 3 л/т

Рідкий органічний біостимулятор застосовували за передпосівної обробки насіння в розрахунок 10 літрів робочої рідини на 1 тону насіння в день сівби. Сорт пшениці озимої м'якої 'МІП Валентія', занесений до Державного реєстру у 2017 році. Сорт відноситься до високопродуктивних пшениць з відмінними хлібопекарськими властивостями, середньоранньостиглий, стійкий до обсіпання та проростання зерна у колосі, стійкий проти ряду збудників хвороб (борошнистої роси, кореневих гнилей, бурі іржі, септоріозу листя та фузаріозу колосу, середньостійкий проти твердої сажки).

Фоновим добривом було DuraSOP Actibion, до складу якого входять такі елементи живлення: N₉P₂₀K₁₂S₁₂ у діючій речовині, а також мікроелементи Mg, Mn, Zn, B, Fe. Формуляцію DuraSOP Actibion виготовлено за інноваційними технологіями, кожен мікроелемент хелатується окремо, що дає змогу підвищити його доступність, забезпечує пролонговане використання азоту завдяки інгібітору MCDHS. DuraSOP – комплексне гранульоване добриво з мікроелементами на матричній основі. Дослід закладався з площею дослідної ділянки 50 м², облікової 40 м² у чотирикратному повторенні. Сівбу відповідно до схеми дослідів проводили в рекомендовані строки (ІІ декада вересня), норма висіву – 5 млн схожих насінин на 1 га, глибина загортання насіння – 4 см. Попередник у досліді – соя. Польові дослідження проводились відповідно до методик польового дослідів [21].

Агротехніка в досліді. Основний обробіток ґрунту – мінімальний, на глибину 12 см відразу після збору попередника. У день сівби проводили передпосівну культивування на глибину 4 см, під яку вносили добриво DuraSOP Actibion. Система азотного живлення передбачала додаткове внесення азоту в період відновлення весняної вегетації (фаза весняне кушення) з розрахунку 80 кг/га діючої речовини азоту на гектар. Система догляду посівів пшениці озимої передбачала: у стадії BBCH 30–37 – внесення Дербі, 0,07 л/га + Імпакт К, 0,7 л/га + Канонір дуо, 0,1 л/га; BBCH 52–54 – Тебукор, 0,5 л/га + Канонір дуо, 0,1 л/га. BBCH 71–80 – Жук off (Венон), 0,15 л/га.

Фенологічні спостереження за процесами росту та розвитку рослин пшениці озимої проводили відповідно до схеми дослідів за методикою [22]. Обрахунок площі листової поверхні посівів пшениці проводили з використанням методу висічок листків з подальшим визначенням їх площі [21]. Вміст хлорофілу в листках пшениці визначали з використанням фотокалориметричного методу – за Вінтерманс та Де Мотс [23].

Результати досліджень

Формування високого врожаю пшениці озимої залежить від оптимальної площі асиміляційної поверхні посіву та ефективності її функціонування. Недостатня площа асиміляційного апарату на перших етапах росту й розвитку, а також впродовж вегетації пшениці озимої обумовлює зниження ефективності використання фотосинтетично активної радіації, надлишкова площа асиміляційної поверхні призводить до взаємозатінення листків нижніх ярусів, що призводить до неефективного перерозподілу продуктів асиміляції, що суттєво впливає на врожайність та якість продукції.

Прапорцевий листок рослини пшениці має значний вплив на формування врожайності. Площа прапорцевого листка головного стебла у фазі цвітіння становила 21,4–25,1 см² і перевищувала суттєво площу першого і другого листка (табл. 2). Застосування RhizoMax сприяло суттєвому збільшенню площі прапорцевого листка – на 2,9–3,7 см². Сумарна площа трьох верхніх листків головного стебла становила від 58,1 см² у контрольному варіанті до 67,1 см² за обробки насіння RhizoMax у нормі 3 л/т, або приріст становив 9,1 см² (13,6 %).

Таблиця 2

Площа листків рослин пшениці озимої за передпосівної обробки насіння пшениці біостимулятором RhizoMax, фаза цвітіння, см² (середнє)

№	Позначення варіанту	Прапорцевий листок	Другий листок	Третій листок	Сумарна площа трьох листків
1	K	21,4	19,7	17,0	58,0
2	F	22,8	21,5	18,3	62,5
3	RM 1 + F	24,3	23,2	18,4	65,9
4	RM 2 + F	24,7	23,3	18,5	66,5
5	RM 3 + F	25,1	23,4	18,6	67,1

Таким чином, обробка насіння біостимулятором RhizoMax на фоні нижчої норми добрив порівняно з виробничим контролем, сприяла збільшенню площі листової поверхні окремих рослин і посівів пшениці озимої загалом.

Синтез органічної речовини відбувається у процесі фотосинтезу, а для проходження фотосинтезу необхідна наявність у клітинах рослин пігментів – хлорофілів і каротиноїдів. Загальний вміст та динаміка пігментів у листках пшениці озимої є визначальним чинником ефективної фотосинтетичної активності листової поверхні. Накопичення пігментів у листках рослин пшениці відображає інтенсивність фотосинтезу. Вміст пігментів у фотосинтетичному апараті впливає на продуктивність рослини і безпосередньо на формування врожаю та якості зерна.

Аналіз впливу передпосівної обробки насіння пшениці озимої біостимулятором RhizoMax свідчить про більші зміни вмісту пігментів у листках рослин за збільшення норм біостимулятора. Сумарний вміст хлорофілів був вищим порівняно з контролем упродовж усіх фаз розвитку за зростаючих норм RhizoMax. Максимальний сумарний вміст пігментів у листках рослин пшениці озимої у середньому за три роки досліджень був у фазі колосіння – 14,3–14,5 мг/г у варіантах із застосуванням біостимулятора RhizoMax, у контрольному варіанті – 11,9 мг/г; за внесення лише добрив (фон) – 13,3 мг/г (табл. 3). Помітне зниження концентрації всіх груп пігментів від фази колосіння до фаз цвітіння та молочно-воскової стиглості було в контрольному варіанті. Водночас застосування біостимулятора і добрива сприяло подовженню активного фотосинтезу – вміст пігментів у листках лишався майже стабільним. Максимальний сумарний вміст хлорофілів був у разі застосування RhizoMax у нормі 3л/т – 14,5 мг/г.

Таблиця 3

Вміст хлорофілу в прапорцевому листку головного пагону рослин пшениці озимої, мг/г (середнє 2020–2022 рр.)

№	Варіант	Фаза росту й розвитку								
		колосіння			цвітіння			молочна стиглість		
		a	b	a + b	a	b	a + b	a	b	a + b
1	K	9,51	2,70	12,2	9,33	2,56	11,9	9,27	2,36	11,6
2	F	9,63	3,56	13,2	9,89	3,43	13,3	10,1	3,22	13,3
3	RM1 + F	10,7	3,75	14,4	10,4	3,85	14,3	10,1	3,57	13,7
4	RM2 + F	10,	3,80	14,5	10,5	3,90	14,4	10,2	3,61	13,8
5	RM3 + F	10,8	3,84	14,6	10,5	3,94	14,5	10,2	3,65	13,9

Усі досліджені варіанти обробки насіння біостимулятором RhizoMax забезпечували істотне збільшення вмісту хлорофілу *a* у листі, порівняно з контрольним варіантом. Вміст хлорофілу *a* у прапорцевому листку в середньому за три роки досліджень зростав за використання біостимулятора порівняно з контролем на 2,14–2,75 мг/г у фазі колосіння; 2,24–2,85 мг/г – у фазі цвітіння; 2,28–2,89 мг/г – у фазі молочно-воскової стиглості (табл. 3).

Щодо показників вмісту хлорофілу *b* у листі, то закономірність була подібною. Вміст хлорофілу *b* зростав за використання біостимулятора порівняно з контролем на 1,14–1,48 мг/г у фазі колосіння; 1,18–1,52 мг/г – у фазі цвітіння; 1,20–1,53 мг/г – у фазі молочно-воскової стиглості.

Найбільш сприятливим роком, у якому максимально проявився ефект від комбінованого

застосування Actibion та RhizoMax, був 2020/2021 в. р. Позитивний баланс вологи в осінньо-зимовий період під урожай 2021 року сприяв прояву позитивної дії біостимулятора RhizoMax. Усі структурні показники та врожайність у разі застосування RhizoMax були найвищими порівняно з іншими роками (табл. 4).

Таблиця 4

Структура та врожайність пшениці озимої за передпосівної обробки насіння RhizoMax

Варіант ¹	Кількість продуктивних стебел, шт./м ²	Кількість зерен у колосі, шт.	Маса зерна з колоса, г	Маса 1000 насінин, г	Урожайність, т/га
2019/2020					
K	440	24	0,75	31,3	3,30
F	515	28	1,12	40	5,77
RM 1+F	535	39	1,49	38,2	7,97
RM 2 +F	544	40	1,44	36,9	7,83
RM 3+F	542	39	1,42	36,4	7,70
2020/2021					
K	455	22	0,82	37,3	3,73
F	539	26	1,01	38,8	5,44
RM 1+F	568	34	1,4	41,2	7,95
RM 2+F	570	36	1,42	39,4	8,09
RM 3+F	570	36	1,45	40,3	8,27
2021/2022					
K	388	18	0,64	35,6	2,48
F	440	20	0,78	39,0	3,43
RM 1+F	506	24	0,90	37,5	4,55
RM 2+F	512	24	0,94	39,2	4,81
RM 3+F	516	26	0,99	38,1	5,11
2019–2022 рр.					
K	428	21	0,74	34,7	3,17
F	498	25	0,97	39,3	4,88
RM 1+F	536	32	1,26	39,0	6,83
RM 2+F	542	33	1,27	38,5	6,91
RM 3л/т	543	33	1,29	38,3	7,02
HIP _{0,95}	18	1	0,12	2,1	0,35

За передпосівної обробки насіння пшениці озимої біостимулятором RhizoMAX підвищується енергія росту та схожість насіння, що забезпечує проєктну густоту стояння рослин. У варіантах з обробкою насіння RhizoMAX було відмічено інтенсивніше кущення, спостерігалась менша редакція сформованих стебел і формування більшої кількості продуктивних стебел.

Урожайність за застосування RhizoMAX у середньому за роки дослідження зростала до 6,83–7,02 т/га за показника на контролі – 3,17 т/га.

Варто відзначити, що незважаючи на критично посушливі умови у 2021/2022 в.р., за застосування Actibion + RhizoMax, залежно від норми застосування RhizoMax було отримано прирости врожайності 2,07–2,63 т/га порівняно з найнижчою врожайністю в контрольному варіанті за роки досліджень – 2,48 т/га. Такий результат, імовірно, пов'язаний також з тим, що до складу RhizoMax входить значний набір із 18 вільних амінокислот, які в умовах посухи могли сприяти підвищенню стресостійкості рослин. Використання біостимулятора RhizoMax для передпосівної обробки насіння є резервом для розкриття ресурсного потенціалу зернової продуктивності посівів пшениці озимої.

Висновки

Комбіноване застосування для обробки насіння RhizoMax та фонового внесення добрива Actibion, сприяє активному росту й розвитку рослин і забезпечує більш ефективні формоутворювальні процеси. Абсолютний ефект від застосування RhizoMax за роками був досить різним, але в усі роки була суттєва різниця щодо вегетативного й генеративного розвитку рослин.

Біостимулятор RhizoMax має антистресову дію, що було доведено в умовах критично посушливого 2021/2022 в.р. – за застосування Actibion + RhizoMax були отримані прирости врожайності на рівні 2,07–2,63 т/га порівняно з контрольним варіантом – 2,48 т/га.

Не встановлено суттєвого додаткового ефекту від зростаючих доз застосування RhizoMax, що може свідчити про активну форму препарату.

Використана література

1. Dwivedi S., Saquib Q., Al-Khedhairy A. A., Musarrat J. Understanding the role of nanomaterials in agriculture. *Microbial Inoculants in Sustainable Agricultural Productivity*. New Delhi: Springer, 2016. P. 271–288. <http://dx.doi.org/10.1007/s13205-019-1576-0>
2. Dubey A., Mailapalli D. R. Nanofertilisers, nanopesticides, nanosensors of pest and nanotoxicity in agriculture. *Sustainable Agriculture Reviews*. 2016. Vol. 19. P. 307–330. https://doi.org/10.1007/978-3-319-26777-7_7
3. Kalenska S. Food security and innovation solutions in crop production. *Plant and Soil Science*. 2022. Vol. 13, Iss. 2. P. 14–26. [https://doi.org/10.31548/agr.13\(2\).2022.14-26](https://doi.org/10.31548/agr.13(2).2022.14-26)
4. Mondal T., Datta J. K., Mondal N. K. Chemical fertilizer in conjunction with biofertilizer and vermicompost induced changes in morpho-physiological and biochemical traits of mustard crop. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 2017. Vol. 16, Iss. 2. P. 135–144. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2015.05.001>
5. Balawejder M., Szostek M., Gorzelany J. et al. A study on the potential fertilization effects of microgranule fertilizer based on the protein and calcined bones in maize cultivation. *Sustainability*. 2020. Vol. 12, Iss. 4. Article 1343. <https://doi.org/10.3390/su12041343>
6. Bielashov O., Rozhkov A., Kalenska S. et al. Influence of pre-sowing application of mineral fertilizers, root and foliar nutrition on productivity of winter tritical plants. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2022. Vol. 23, Iss. 6. P. 1–14. <https://doi.org/10.12912/27197050/152118>
7. Novytska N., Gadzvsokiy G., Mazurenko B. et al. Effect of seed inoculation and foliar fertilizing on structure of soybean yield and yield structure in Western Polissya of Ukraine. *Agronomy Research*. 2020. Vol. 18, Iss. 3. P. 2512–2519. <https://doi.org/10.15159/ar.20.203>
8. Kou T. J., Yu W. W., Lam S. K. et al. Differential root responses in two cultivars of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) to elevated ozone concentration under fully open-air field conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 2018. Vol. 204. P. 325–332. <https://doi.org/10.1111/jac.12257>
9. Honchar L., Kalenska S., Mazurenko B., Grigorevsky M. Formation the elements of productivity of winter wheat by seed dressing application the slow-acting complex. *Plant and Soil Science*. 2021. Vol. 12, Iss. 4. P. 7–16. <https://doi.org/10.31548/agr2021.04.007>
10. Bakharev Y., Kuznetsova O., Johansson M., Rossi L. Integrated biofertilizers for cereals: a field experiment on oats under European climatic conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2023. Vol. 40, Iss. 3. P. 605–616. <https://doi.org/10.1021/jafc.3b00817>
11. Baslam M., Mitsui T., Hodges M. et al. Photosynthesis in a changing global climate: scaling up and scaling down in crops. *Frontiers in Plant Science*. 2020. Vol. 11. Article 882. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00882>
12. De Bossoreille de Ribou S., Douam F., Hamant O. et al. Plant science and agricultural productivity: why are we hitting the yield ceiling? *Plant Science*. 2013. Vol. 210. P. 159–176. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2013.05.010>
13. Long S. P., Zhu X. G., Naidu S. L., Ort D. R. Can improvement in photosynthesis increase crop yields? *Plant, Cell & Environment*. 2006. Vol. 29, Iss. 3. P. 315–330. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2005.01493.x>
14. Morales F., Ancín M., Fakhret D. et al. Photosynthetic metabolism under stressful growth conditions as a basis for crop breeding and yield improvement. *Plants*. 2020. Vol. 9. Article 88. <https://doi.org/10.3390/plants9010088>
15. Lawlor D. W. Photosynthesis, productivity and environment. *Journal of Experimental Botany*. 1995. Vol. 46. P. 1449–1461. https://doi.org/10.1093/jxb/46.special_issue.1449
16. Smith N. G., Keenan T. F. I., Prentice C. et al. Global photosynthetic capacity is optimized to the environment. *Ecology Letters*. 2023. Vol. 22, Iss. 3. P. 506–517. <https://doi.org/10.1111/ele.13210>
17. Duda M., Tritean N., Racz I. et al. Yield performance of spring oats varieties as a response to fertilization and sowing distance. *Agronomy*. 2021. Vol. 11, Iss. 5. Article 815. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050815>
18. Kozyrskyi V., Zablodskiy M., Savchenko V., Sinyavsky O. et al. *The magnetic treatment of water solutions and seeds of agricultural crops. Advanced Agro-Engineering Technologies for Rural Business Development*. 2019. 37 p.
19. Каленська С. М., Гордіна О. Ю. Асиміляційна поверхня пшениці озимої залежно від передпосівної обробки насіння біологічними препаратами. *Новітні агротехнології*. 2023. Vol. 11, Iss. 2. <https://doi.org/10.47414/na.11.2.2023.285330>
20. Tian H., Zhou Q., Liu W. et al. Responses of photosynthetic characteristics of oat flag leaf and spike to drought stress. *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.917528>
21. Дослідна справа в агрономії. Кн. 1: Теоретичні аспекти дослідної справи / за ред. А. О. Рожкова. Харків : Майдан, 2016. 316 с.
22. Єрмантраут Е. Р., Гопцій Т. І., Каленська С. М. та ін. Методика селекційного експерименту (у рослинництві). Харків : ХНАУ ім. В. В. Докучаєва, 2014. 229 с.
23. Marckam K. R. *Methods in Plant Biochemistry*. London : Academic Press, 1989. 330 p.

References

1. Dwivedi, S., Saquib, Q., Al-Khedhairi, A. A., & Musarrat, J. (2016). Understanding the role of nanomaterials in agriculture. *Microbial Inoculants in Sustainable Agricultural Productivity* (pp. 271–288). Springer. <http://dx.doi.org/10.1007/s13205-019-1576-0>
2. Dubey, A., & Mailapalli, D. R. (2016). Nanofertilisers, nanopesticides, nanosensors of pest and nanotoxicity in agriculture. *Sustainable Agriculture Reviews*, 19, 307–330. https://doi.org/10.1007/978-3-319-26777-7_7
3. Kalenska, S. (2022). Food security and innovation solutions in crop production. *Plant and Soil Science*, 13(2), 14–26. [https://doi.org/10.31548/agr.13\(2\).2022.14-26](https://doi.org/10.31548/agr.13(2).2022.14-26)
4. Mondal, T., Datta, J. K., & Mondal, N. K. (2017). Chemical fertilizer in conjunction with biofertilizer and vermicompost induced changes in morpho-physiological and biochemical traits of mustard crop. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16(2), 135–144. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2015.05.001>
5. Balawejder, M., Szostek, M., Gorzelany, J., Antos, P., Witek, G., & Matłok, N. A. (2020). A study on the potential fertilization effects of microgranule fertilizer based on the protein and calcined bones in maize cultivation. *Sustainability*, 12(4), Article 1343. <https://doi.org/10.3390/su12041343>
6. Bielashov, O., Rozhkov, A., Kalenska, S., Karpuk L., Marenych, M., Kuts, O., Zaitseva, I., Romanov, O., & Muzafarov, N. (2022). Influence of pre-sowing application of mineral fertilizers, root and foliar nutrition on productivity of winter tritical plants. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 23(6), 1–14. <https://doi.org/10.12912/27197050/152118>
7. Novytska, N., Gadzvskiy, G., Mazurenko, B., Kalenska, S., Svistunova, I., & Martynov, O. (2020). Effect of seed inoculation and foliar fertilizing on structure of soybean yield and yield structure in Western Polissya of Ukraine. *Agronomy Research*, 18(3), 2512–2519. <https://doi.org/10.15159/ar.20.203>
8. Kou, T. J., Yu, W. W., Lam, S. K., Chen, D.-L., How, Y.-P., & Li, Z.-Y. (2018). Differential root responses in two cultivars of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) to elevated ozone concentration under fully open-air field conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 204, 325–332. <https://doi.org/10.1111/jac.12257>
9. Honchar, L., Kalenska, S., Mazurenko, B., & Grigorevsky, M. (2021). Formation the elements of productivity of winter wheat by seed dressing application the slow-acting complex. *Plant and Soil Science*, 12(4), 7–16. <https://doi.org/10.31548/agr2021.04.007>
10. Bakharev, Y., Kuznetsova, O., Johansson, M., & Rossi, L. (2023). Integrated biofertilizers for cereals: A field experiment on oats under European climatic conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40(3), 605–616. <https://doi.org/10.1021/jafc.3b00817>
11. Baslam, M., Mitsui, T., Hodges, M., Priesack, Hermit, M. T., Aranjuelo, I., & Sanz-Saez. (2020). Photosynthesis in a changing global climate: Scaling up and scaling down in crops. *Frontiers in Plant Science*, 11, Article 882. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00882>
12. de Bossoreille de Ribou, S., Douam, F., Hamant, O., Frohlich, M. W., & Negrutiu, I. (2013). Plant science and agricultural productivity: Why are we hitting the yield ceiling? *Plant Science*, 210, 159–176. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2013.05.010>
13. Long, S. P., Zhu, X. G., Naidu, S. L., & Ort, D. R. (2006). Can improvement in photosynthesis increase crop yields? *Plant, Cell & Environment*, 29(3), 315–330. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2005.01493.x>
14. Morales, F., Ancín, M., Fakhet, D., González-Torralba, J., Gámez, A. L., Seminario, A., Soba, D., Ben Mariem, S., Garriga, M., & Aranjuelo, I. (2020). Photosynthetic metabolism under stressful growth conditions as a basis for crop breeding and yield improvement. *Plants*, 9, Article 88. <https://doi.org/10.3390/plants9010088>
15. Lawlor, D. W. (1995). Photosynthesis, productivity and environment. *Journal of Experimental Botany*, 46, 1449–1461. https://doi.org/10.1093/jxb/46.special_issue.1449
16. Smith, N. G., Keenan, T. F., Colin Prentice, I., Wang, H., Wright, I. J., Niinemets, Ü., Crous, K. Y., Domingues, T. F., Guerrieri, R., Yoko Ishida, F., Kattge, J., Kruger, E. L., Maire, V., Rogers, A., Serbin, S. P., Tarvainen, L., Togashi, H. F., Townsend, P. A., Wang, M., ... Zhou, S. (2023). Global photosynthetic capacity is optimized to the environment. *Ecology Letters*, 22(3), 506–517. <https://doi.org/10.1111/ele.13210>
17. Duda, M., Tritean, N., Racz, I., Kadar, R., Russu, F., Fițiu, A., Muntean, E., & Vâtcă, A. (2021). Yield performance of spring oats varieties as a response to fertilization and sowing distance. *Agronomy*, 11(5), Article 815. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050815>
18. Kozyrskyi, V., Zablodskiy, M., Savchenko, V., Sinyavsky, O., Yuldashev, R., Kalenska, S., & Podlaski, S. Z. (2019). The magnetic treatment of water solutions and seeds of agricultural crops. In *Advanced Agro-Engineering Technologies for Rural Business Development* (p. 37).
19. Kalenska, S. M., & Gordyna, O. Yu. (2023). The assimilation surface of winter wheat under the effect of seed treatment with biological preparations. *Advanced Agritechnologies*, 11(2). <https://doi.org/10.47414/na.11.2.2023.285330> [In Ukrainian]
20. Tian, H., Zhou, Q., Liu, W., Zhang, J., Chen, Y., Jia, Z., Shao, Y., & Wang, H. (2022). Responses of photosynthetic characteristics of oat flag leaf and spike to drought stress. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.917528>

21. Rozhkov, A. O., Puzik, V. K., & Kalenska, S. M. (Eds.). (2016). *Experimental work in agronomy. Book 1. Theoretical aspects of experimental work*. Maidan. [In Ukrainian]
22. Yermantraut, E. R., Hoptsi, T. I., & Kalenska, S. M. (2014). *Breeding experiment methodology (in plant breeding)*. Kharkiv: KhNAU im. V. V. Dokuchaieva. [In Ukrainian]
23. Marckam, K. R. (1989). *Methods in Plant Biochemistry*. Academic Press.

UDC 631.52.032:631.523.7

Kalenska, S. M., Shutyi, O. I., Antal, T. V., Sonko, R. V., & Kalenskyi, V. P. (2025). Efficiency of pre-sowing wheat seed treatment with a biostimulant. *Advanced Agritechnologies*, 13(2). <https://doi.org/10.47414/na.13.2.2025.342835> [In Ukrainian]

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroiv Oborony St., Kyiv, 03041, Ukraine, *e-mail: svitlana.kalenska@gmail.com*

The aim of the study was to determine the effect of pre-sowing treatment of winter wheat seeds using RhizoMax biostimulant on the formation of leaf area, chlorophyll content in leaves, and yield of winter wheat. **Methods.** The research was conducted using field, laboratory, and mathematical methods of analysis. Field studies were carried out at the Agronomic Research Station of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, in a stationary crop rotation of the Department of Plant Growing on typical low-humus chernozem. The study was conducted using RhizoMax biostimulant on the sowings of winter wheat variety 'MIP Valensiia'. **Results.** The flag leaf area in the flowering phase was 21.4–25.1 cm² and exceeded the area of the first and second leaves. The use of RhizoMax contributed to a significant increase in the flag leaf area by 2.9–3.7 cm². The total area of the three upper leaves of the main stem ranged from 58.1 in the control treatment to 67.1 cm² in the treatment with RhizoMax at a rate of 3 l/t. The increase was 9.1 cm² (13.6%). The maximum total content of pigments in the leaves of winter wheat plants, average for three years, in the heading phase was 14.3–14.5 mg/g with the use of the RhizoMax biostimulant, while in the control treatment it was 11.9, and with the application of fertilisers only (background) it was 13.3 mg/g. A noticeable decrease in the concentration of all groups of pigments from the heading phase to flowering and milk-wax ripeness was observed in the control treatment. The use of the biostimulant and fertiliser contributed to the prolongation of active photosynthesis: the pigment content in the leaves remained almost stable throughout the phases. The chlorophyll 'a' content in the flag leaf, average for three years of research, increased with the use of the biostimulant compared to the control in the heading phase by 2.14–2.75 mg/g, in the flowering stage by 2.24–2.85, and in the milk-wax ripeness stage by 2.28–2.89 mg/g. The application of RhizoMAX ensured a yield increase to 6.83–7.02 t/ha on average over the years of the study, while the yield in the control treatment was only 3.17 t/ha. The stimulating and anti-stress effect of the RhizoMax biostimulant was proven: under the extreme drought conditions of the 2021–2022 growing season, a yield increase ranged from 2.07 to 2.63 t/ha compared to the control treatment where the yield was 2.48 t/ha. **Conclusions.** The combined use of the RhizoMax biostimulant for seed treatment and the background application of Actibion fertiliser promotes active growth and development of plants and ensures the active functioning of the leaves, chlorophyll synthesis, and increased yield of winter wheat. No significant effect from increasing rates of RhizoMax was found.

Keywords: winter wheat; RhizoMax biostimulant; leaf area; chlorophyll; yield; yield structure; stress resistance.

Надійшла / Received 07.08.2025
Погоджено до друку / Accepted 21.08.2025